وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
بيت الحكمة

انظمة الزراعة بدون استخدام تربة



تأليف الدكتور فاضل حسين الصحاف

انظمة الزراعة بدون استخدام تربة

١٩٨٩

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
بيت الحكمة

انظمة الزراعة بدون استخدام تربة



تأليف الدكتور فاضل حسين الصحاف

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بغداد
بيت الحكمة

أنظمة الزراعة بدون استخدام تربة

تأليف
الدكتور فاضل حسين الصحاف

أستاذ مساعد/ قسم البستنة
كلية الزراعة/ جامعة بغداد

١٩٨٩

المقدمـــة

لقد دأبت قيادة الحزب والثورة على تشجيع الباحثين والمفكرين للقيام بحملة لتعريب الكتب الجامعية فنشطت حركة التأليف والترجمة في كافة مؤسسات وزارة التعليم العالي والبحث العلمي . إن كتاب أنظمة الزراعة بدون استخدام تربة هو أحد ثمرات هذه الحملة حيث يتناول دراسة توضيحية مفصلة للأنظمة الزراعية المعروفة التي استخدم فيها وسط غير التربة . يتكون الكتاب من إثني عشر فصلاً تناولت في الفصول الاربعة الاولى أهمية العناصر المغذية للنباتات وكيفية إمتصاصها وحركتها وتمثيلها داخل أنسجة النبات وعلاقة نقص أو زيادة اي عنصر على سير العمليات الحيوية في النبات .

في حين تناول الفصل الخامس شرحاً وافياً عن كيفية تحضير المحلول المغذي وأنواع المحاليل المغذية التي تستخدم في هذه الانظمة . اما الفصول السادس والسابع والثامن والتاسع والعاشر فقد تضمنت تفصيلات عن الاوساط المستخدمة في الانظمة الزراعية ومواصفات كل منها فيما تناول الفصل الحادي عشر الأمراض الفسلجية وتلك الناتجة عن مسببات مرضية التي تصيب نباتات الخضراوات . اما الفصل الثاني عشر فقد تضمن التطبيقات العملية لزراعة المحاصيل في أنظمة الزراعة بدون تربة . إن الزراعة بدون تربة بدأت تنتشر في دول الخليج العربي والعراق في الوقت الذي لايوجد أي مرجع باللغة العربية حول هذا الموضوع لذا يعتبر هذا الكتاب اول كتاب في الوطن العربي يتناول شرح مفصل لانظمة الزراعة بدون تربة . يستفيد من هذا الكتاب بالأضافة الى جوانبة التطبيقية طلبة الجامعات في المراحل المختلفة ممن يدرسون تغذية النبات في كليات الزراعة والعلوم .

كما يعتبر كتاب مساعد لطلبة الدراسات العليا . في الختام أود أن أقدم شكري وتقديري الى وزارة التعليم العالي والبحث العلمي التي أتاحت لي هذه الفرصة كما وأخص الدكتور عبد عون هاشم المقيم العلمي الذي اتحفنى بملاحظاته العلمية القيمة والدكتور بالعرفان محمود ابراهيم السامرائي لمراجعته الفصل المتعلق بالأمراض ، كما وأهدي ثمرة جهدي هذا الى زوجتي وأطفالي الثلاثة الذين صبروا كثيراً اثناء قيامي بتأليف هذا الكتاب والله ولي التوفيق .

المؤلف
١٩٨٩

المحتويات

الصفحة

الفصل الاول

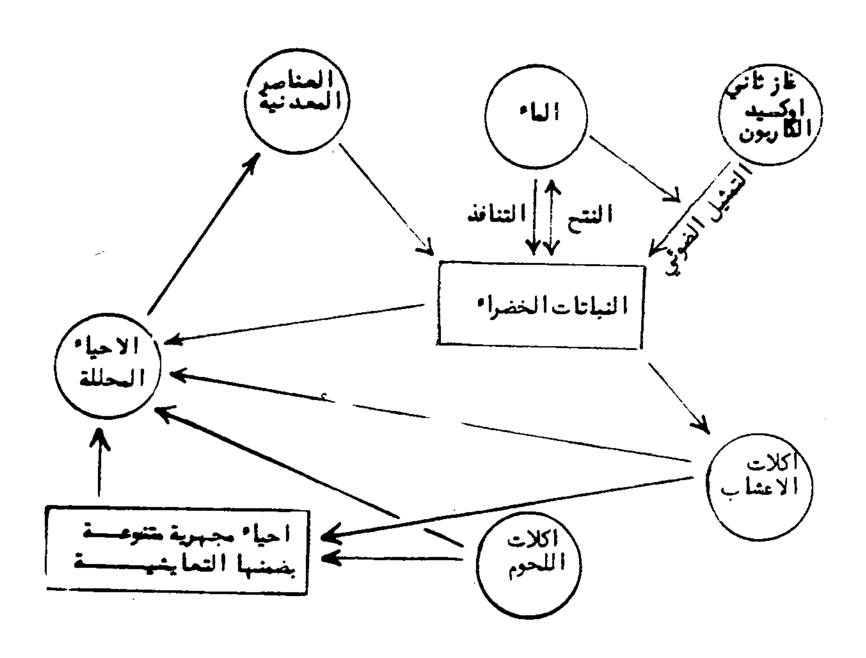
العناصر المعدنية : وجودها في الطبيعة وأهميتها في تغذية النبات

المقدمة :

تعرف الحياة بأنها قابلية الخلايا الحية على امتصاص مواد او عناصر من الطبيعة واستخدامها في صناعة محتوياتها الخلوية او كمصدر للطاقة وان تجهيز وامتصاص المركبات الكيمياوية التي يحتاجها الكائن الحي في النمو او العمليات الحيوية يمكن ان تسمى بالتغذية Nutrition . وتسمى ميكانيكية تحويل العناصر الغذائية الى مركبات خلوية او مصدر لانتاج الطاقة بالعمليات الحيوية وهو مصطلح يشمل التفاعلات المختلفة والتي تحصل في الخلايا الحية لكي تحافظ على استمرار حياتها ونموها . وبناء على ماتقدم فان التغذية والعمليات الحيوية Metabolism مرتبطتان . فيما بينهم بشكل دقيق .وان تغذية النبات تشمل على عدد من العمليات منها تلك التي تتعلق بامتصاص العناصر المغذية وتأثير هذه العناصر في حياة النبات Mineral Metabolism ·جميع الكائنات الحية تتكون من ذرات لعناصر كيمياوية ويعتبر المصدر الرئيسي لهذه العناصر على الكرة الارضية هي الصخور والمحيطات والمحيط الجوي.بصورة عامة النباتات وبعض الاحياء المجهرية الاخرى الحاوية على الصبغة الخضراء (الكلورفيل) لها القابلية على أخذ الكاربون ،الاوكسجين من الجو في حين تحصل على الهيدروجين من الماء لتصنع غذائها وهذه الكائنات تسمى ذاتية التغذية (Autotrophic) وهي بذلك تختلف عن الحيوانات حيث ان الاخيرة تحتاج الى غذاء جاهز من المركبات المضوية كالكاربوهيدرات والبروتينات وغيرها لاستمرارية حياتها لذلك تسمى البكتريا ذات المعيشة الحرة .

تمتص النباتات بفعل العمليات الحيوية النتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والمغنيسيوم وبقية العناصر المعدنية الضرورية وتستخدمها في بناء خلاياها . بعد ذلك تستهلك النباتات من قبل الحيوانات او ان تتحلل بفعل الظروف الجوية أو ظروف التربة وبالتالي ترجع الى حالتها الايونية ويستفاد منها النبات ثانية . والمخطط التالي يوضح دورة العناصر المعدنية في الطبيعة (شكل ١ ـ ١).

العنصر المعدني الضروري يمكن ان يعرف بانه ذلك العنصر الذي يحتاجه النبات لاكمال دورة حياته والذي لايمكن ان يحل محله عنصر آخر من حيث الفعالية والتخصص كما انه يجب ان يدخل هذا العنصر في التغذية مباشرة مثلا كأن يكون أحد مكونات المركبات العضوية المستخدمة في العمليات الحيوية او ان يكون مساعد انزيمي الخ .



شكل ١ ـ ١ : دورة العناصر المعدنية في الطبيعة (محور عن tpstein ١٩٧٢)

من ذلك يتضح ان العنصر المعدني الضروري لايعتمد في تسميته على الكمية التي يحتاجها النبات وانما على دور وفعالية العنصر وأهميته في حياة النبات واستنادا الى ماتقدم فقد اقترح الباحثان Arnon و Stout (١٩٣٩) ان العناصر الكيمياوية التالية هي عناصر ضرورية للنباتات الراقية :

العنصر	الرمز	العنصر	الرمز
الكاربون	C	المنغنيز	Mn
الهيدروجين	H	النحاس	Cu
الاوكسجين	O	الزنك	Zn
النتروجين	N	البورون	B
الفسفور	P	الموليبدنم	Mo
الكبريت	S	الكلور	Cl
البوتاسيوم	K	الصوديوم	Na
الكالسيوم	Ca	السليكون	Si
المغنيسيوم	Mg	الكوبلت	Co
الحديد	Fe	الفناديوم	V

مايخص الصوديوم والسليكون والكلور فهي تعتبر عناصر ضرورية لبعض النباتات الراقية . فمثلاً يعتبر الصوديوم ضروري لبعض انواع النباتات مثل نباتات العائلة الرمرامية (Chenopodiaceae) وانواع النباتات المتكيفية للنمو في الظروف ذات الملوحة العالية حيث ان هذه النباتات تمتص هذا العنصر بكميات كبيرة نسبياً .

وما ذكر عن الصوديوم ينطبق على السليكون الذي يعتبر عنصر ضروري للرز . اما بالنسبة للكلور فقد ذكر Broyer واخرون (١٩٥٤) انه عنصر ضروري لنمو النباتات الراقية حيث يعتقد انه يلعب دوراً فعالاً في عملية التمثيل الضوئي (Arnon ، ١٩٥٩) ونتيجة للتطور الكبير الذي حصل في التكنلوجيا وبتقدم الدراسات والبحوث في هذا المجال قسمت العناصر الضرورية الى عناصر مغذية كبرى Macronutrients وعناصر مغذية صغرى Micronutrients حيث ان هذا

التقسيم يعتمد اساساً على الكمية التي يمتصها النبات من العنصر . محتوى انسجة النباتات من النتروجين على سبيل المثال يعادل الف ضعف محتواها من عنصر الزنك واعتماداً على الكمية التي يحتاجها النبات حسب التعريف اعلاه فان الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنتروجين والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم ، والصوديوم والسليكون في بعض النباتات تعتبر عناصر مغذية كبرى . أما الحديد والمنغنيز والنحاس والزنك والموليبدنم والكلور فتعتبر عناصر مغذية صغرى .

ان التقسيم اعلاه تقسيم غير دقيق وذلك لان محتوى انسجة النباتات من العناصر المعدنية يختلف باختلاف نوع النبات فمثلا قد يكون محتوى انسجة بعض النباتات من الحديد والمنغنيز يقارب أو يفوق محتواها من المغنيسيوم والكبريت وفي احيان اخرى فان محتوى الانسجة النباتية من عنصر معين يفوق حاجتها له في العمليات الفسيولوجية كما هو الحال مع المنغنيز . كما ان النبات يحتاج الى الكلور في عملية التمثيل الضوئي بتراكيز واطئة جداً لكننا نجد ان تراكيزه في انسجة النبات تفوق بكثير حاجة النبات الفعلية له .

من ذلك يتضح بان محتوى الانسجة النباتية كالاوراق والسيقان والجذور والثمار من العناصر المعدنية المختلفة قد لايشكل دليل واضح على حاجة النبات الفعلية لتلك المناصر في العمليات الفسيولوجية والتفاعلات الحيوية المختلفة . وفي بعض الاحيان قد يحتوي النبات على عنصر معدني لايستفيد منه في التغذية الا انه موجود بتراكيز مرتفعة وقد تكون سامة كالالمنيوم والنيكل والسلينيوم والفلور . وبناء على ماتقدم فان التقسيم اعلاه من الناحية الفسيولوجية تقسيم غير دقيق وذلك للتباين الكبير في محتوى انسجة النباتات المختلفة أو حتى محتوى الانسجة المختلفة للنبات الواحد من هذه المناصر . لذلك فان تقسيم العناصر المغذية اعتمادا على فعاليتها الحيوية وتأثيراتها الفسيولوجية يعطي صورة أوضح وادق لاهمية العنصر المغذي . ومن هذا المنطلق يمكن تقسيم العناصر المغذية الى اربع مجاميع وهي :
المجموعة الاولى : وتحتوي على المكونات الرئيسية للمركبات العضوية في انسجة النباتات وهي الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنتروجين والكبريت . يمتص النبات الكاربون بصورة ثاني اوكسيد الكاربون (CO_2) من المحيط الجوي وربما على صورة ايون البيكربونات (HCO_3) من محلول التربة وهذه المركبات تجري عليها عملية اضافة جزيئة ثاني اوكسيد الكاربون (Carboxylation) داخل النسيج النباتي لتكوين مجاميع كاربوكسيلية (COOH) . كما يؤخذ الهيدروجين من الماء سواء الممتص من محلول التربة أو من الرطوبة الجوية عندما تكون هذه

الرطوبة عالية في الجو المحيط بالنبات (atmosphere) ففي عملية التمثيل الضوئي ينشطر الماء بعملية التحلل الضوئي (photolysis) الى الهيدروجين والاوكسجين بمساعدة انزيمات شطر الماء (Water Spliting Enzymes) ومن خلال سلسلة من تفاعلات الضوء يختزل النيكوتينمايد ادنين ثنائي الفوسفات ($NADP^+$) باتحاده مع الهيدروجين الى صورته المختزلة (NADPH) حسب المعادلة التالية :

$$NADP^+ + H^+ + e^- \rightleftharpoons NADPH$$

هذه المادة المختزلة تعتبر مرافق انزيمي في عمليات الاكسدو والاختزال من خلال قابليها على اعطاء ذرة الهيدرجين الى عدد كبير من المركبات كما في حالة اختزال حامض الكلبيسيريك الفوسفائي (phosphoglyceric acid) وذلك بمساعدة ـ الاوينوسين ثلاثي الفوسفات (Adenosine triphosphate) وتحويله في عملية التمثيل الضوئي الى الكليسير الديهايد الفوسفائي كما هو مبين ادناه .

$$\begin{array}{c} CH_2O-P \\ | \\ CHOH \\ | \\ COOH \end{array} \xrightarrow{ATP} \begin{array}{c} CH_2-O-P \\ \backslash \\ CHOH \\ | \\ C-O-P \\ | \\ O \end{array} \xrightarrow{NADPH} \begin{array}{c} CH_2-O-P \\ | \\ CHOH \\ | \\ CHO \end{array}$$

أما النتروجين فانه يؤخذ من محلول التربة أما بصورة ايونات النترات (NO_3^-) أو الامونيوم (NH_4^+) وقد يمتص بصورة نتروجين عضوي كما في حالة اليوريا ($(NH_2)_2CO$) وقد يمتص من المحيط الجوي بصورة نتروجين جزيئي (N_2) . ان عملية امتصاص النتروجين الجزيئي من المحيط الجوي لاتحصل بصورة مباشرة وانما يثبت جزيء النتروجين بواسطة بعض الاحياء المجهرية مثل الـ (Rhizobium) والـ (Actinomyces) والتي تعيش بصورة تعايشية مع النباتات الراقية خصوصاً نباتات العائلة البقولية (leguminosae) وفي بعض الحالات يتحد الهيدروجين بالنتروجين تحت ظروف درجات الحرارة والضغط المرتفعين وتنتج عن ذلك الامونيا كما في المعادلة التالية (طريقة Haber-Bosch) .

$$N_2 + 3H_2 \xrightarrow[\text{وضغط مرتفعين}]{\text{درجات حرارة}} 2NH_3$$

تختزل ايونات النترات والامونيوم داخل انسجة النبات لتتحد مع الاحماض العضوية مكونة بذلك الاحماض الامينية وبالتالي البروتينات . يتم تمثيل الكبريت في انسجة النبات وذلك باختزال ايون الكبريتات (SO_4^{2-}) الى مجموعة السلفدريل (SH-group) مشابهة لما يحدث لايون النترات . ويمكن للنبات الحصول على الكبريت وذلك بامتصاص ثاني اوكسيد الكبريت من المحيط الجوي اضافة الى الكبريتات من محلول التربة .

ان العناصر الغذائية المذكورة اعلاه هي عناصر اساسية تدخل في تركيب المركبات العضوية الضرورية لفعالية الخلايا الحية بايولوجيا وفسيولوجيا .

المجموعة الثانية من العناصر المغذية هي من المعادن وتشمل الفسفور والبورون والسليكون وهي تتشابه الى حد ما في فعالياتها الحيوية حيث ان جميعها تمتص من قبل النبات أما بصورة ايونات أو بشكل احماض . أما داخل انسجة النبات فتكون متحدة مع مجاميع الهيدروكسيل في السكريات المختلفة لتكون استرات الفوسفات أو البورات أو السليكات .

أما مكونات المجموعة الثالثة فهي البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والمنغنيز والكلور . النباتات تمتص هذه الايونات من محلول التربة وهي اما ان تكون بحالة ايونية حرة داخل الخلية النباتية أو تكون متحدة مع بعض الايونات السالبة للمواد العضوية . فمثلا مجاميع الكاربوكسيل في البكتين تتحد مع ايونات الكالسيوم (Ca^{2+}) كما ان المغنيسيوم من جانب اخر يمثل مركز جزيئة الكلوروفيل . كما تقوم العناصر المغذية في هذه المجموعة بتنظيم الضغط الازمزي للخلايا وتعمل كمنشطات أو مرافقات انزيمية في التفاعلات الحيوية .

أما المجموعة الرابعة من العناصر المغذية هي الحديد والنحاس والزنك والموليبدنم . جميع عناصر هذه المجموعة باستثناء الموليبدنم يمتصها النبات بحالة مخلوبة (chelated) وتكون موجودة في خلايا النبات بصورة مخلوبة أيضاً . قد يحصل تداخل في تصنيف العناصر الى المجاميع اعلاه فقد يكون المغنيسيوم او الكالسيوم أو المنغنيز ضمن المجموعة الرابعة لان هذه العناصر قد تكون بصورة مخلوبة ايضاً . ان اهمية عناصر المجموعة الرابعة ترجع الى قيامها بعمليات نقل الالكترونات في تفاعلات الاكسدة والاختزال بسبب قابليتها على فقدان واكتساب الالكترونات .

النتروجين : N

يمثل النتروجين اهمية خاصة في تغذية النبات ليس لكونه من العناصر الضرورية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة فحسب ولكن لان الصخور في الطبيعة لاتجهز هذا العنصر كتجهيزها للعناصر الضرورية الاخرى كالبوتاسيوم والكالسيوم والفسفور وغيرها وبناءً على ذلك فان وجود النتروجين في التربة يعتمد كليا على ماينتج من تحلل المركبات العضوية الحاوية عليه او ما يضاف كاسمدة نتروجينية او مايثبت من النتروجين الجوي سواء كان التثبيت بواسطة الاحياء المجهرية في التربة او مايثبت بواسطة عمليات البرق والرعد . يعتبر عنصر النتروجين من حيث الاهمية رابع عنصر في تسلسل العناصر المهمة بعد الهيدروجين والاوكسجين والكربون حيث ان نسبته حوالي ٢ ـ ٤ ٪ من الوزن الجاف لانسجة النباتات مقارنة بالكاربون الذي يمثل ٤٠ ٪ من وزن النبات الجاف .

يدخل النتروجين في تركيب البروتينات ويمثل حوالي ١٨ ٪ من وزنها حيث يمتص بصورة عامة على شكل نترات ثم تختزل النترات الى امونيا داخل خلايا النبات لتتحد مع الاحماض العضوية وينتج عن ذلك الاحماض الامينية (Beevers و Hageman, ١٩٦٩) . ويدخل النتروجين في تركيب الكلوروفيلات حيث لوحظ أن ٧٠ ٪ من نتروجين الورقة يدخل في تركيب صبغات التمثيل الضوئي . (Ongun, Stocking ، ١٩٦٢) من ذلك يتضح أن البلاستيدات الخضراء في النباتات تحتوي على اكثر من نصف المحتوى الكلي من النتروجين . كما لوحظ ان لصورة النتروجين تأثير على نشاط بعض الانزيمات مثل انزيم مختزل النترات (Nitrate reductase) حيث وجد (Hageman, Beevers ، ١٩٦٩) ان فعالية هذا الانزيم تزداد بوجود النترات . اما النتروجين بصورة امونيوم فلها القابلية على ان تستبدل البوتاسيوم في دورهُ التنشيطي في تنشيط الانزيمات او يدخل النتروجين في كثير من المركبات الحيوية في تركيب الخلية مثل الاحماض الامينية والاحماض النووية ذات القواعد البيورينية (Purines) والقواعد البيروميدينه (Pyrimidines) وفي تركيب المرافقات الانزيمية مثل النيكوتينمايد ثنائي الفوسفات (NADP) مما تقدم تتوضح اهمية هذا العنصر في تصنيع البروتينات وانعكاس ذلك على نمو النبات . لذلك فان نقص تجهيز هذا العنصر ينتج عنه اختلال كبير في نمو النبات . ومن الاعراض الاولية لنقص عنصر النتروجين هي الاصفرار العام للاوراق القديمة وتساقطها . ويعود اصفرار الاوراق الى التثبيط في بناء

الكلوروفيل حيث ذكر Vesk واخرون (١٩٦٦) ان مظهر البلاستيدات يتأثر كثيراً عند تعرض النبات لنقص النتروجين ما يسبب انخفاض كبير في معدل سرعة التمثيل الضوئي. لذلك فان النباتات التي تعاني من نقص النتروجين لاتعاني فقط من نقص تصنيع البروتينات ولكنها تعاني من نقص تصنيع جميع المركبات العضوية الضرورية للنمو مثل الكربوهيدرات فقد لوحظ ان الكربوهيدرات بما في ذلك النشأ تتراكم في النبات عند تعرضه لنقص النتروجين قبل ان تظهر اعراض الاصفرار على الاوراق وربما يعود ذلك الى عدم استخدام هذه المركبات في تصنيع الاحماض الامينية والبروتينات. وباستمرار نقص النتروجين تبدأ الاعراض بالانتشار لتشمل كافة الاوراق حتى الحديثة منها.

للنباتات القابلية على امتصاص النترات بصورة أيونات سالبة (NO_3^-) او كايونات موجبة مثل الامونيوم (NH_4^+) وبصورة عامة يعتبر معدل امتصاص النتروجين على هيئة نترات اعلى من الامونيوم. وتشير نتائج الباحثين بان امتصاص النترات من قبل الجذور هو امتصاص نشط (Active Absorption) اي ان النبات يستهلك طاقة لكي يمتص هذا الايون ويراكمه داخل خلاياه ضد تدرج التركيز الكيميائي الكهربائي.

فقد وجد Bowling, Ansari (١٩٧٢) ان امتصاص النترات من قبل بادرات عباد الشمس المقطوعة القمة النامية كان امتصاصها نشط. وما يعزز هذه النتائج ماوجده Zsoldos (١٩٧٢) ان امتصاص ايونات النترات يتأثر كثيراً بدرجات الحرارة وكان امتصاصه صفر على درجة الصفر المئوي وذلك باستخدام نبات الرز.

اما امتصاص ايون الامونيوم (NH_4^+) لم يعرف بالضبط ما اذا كان نشطا او حرا حيث انه في بعض الدراسات لم يلاحظ تأثر امتصاصه بدرجات الحرارة المختلفة مقارنة بالنترات. اضافة الى ذلك فقد افترض Mengel واخرون (١٩٧٦) انه عندما تكون درجة حموضة محلول التربة مرتفعة (المحيط القاعدي) فان امتصاص الامونيا (NH_3) هو السائد في حين في المحيط المتعادل يكون امتصاص ايونات الامونيوم (NH_4^+) هو السائد. يبقى السؤال ما اذا كان قابلية الاختيار في امتصاص النترات او الامونيوم غير واضح الاجابة. فيعتقد بعض الباحثين ان سيادة امتصاص احد هذين الايونين على الاخر يعود الى الفرق في درجة حموضة المحلول. فقد وجد Rains,Rao (١٩٧٦) ان امتصاص ايون الامونيوم هو السائد في المحلول المتعادل (PH = ٧) ويقل امتصاصه في المحيط الحامضي في حين العكس صحيح مع ايون النترات الذي يكون امتصاصه سائد في

المحيط الحامضي . ان امتصاص الامونيوم يتأثر ايضا بحالة الكربوهيدرات في النبات حيث وجد Hughes, Kirkby (١٩٧٠) ان امتصاص الامونيوم يزداد بازدياد مستوى الكاربوهيدرات في النبات . وربما يعزى ذلك الى تحفيز تمثيل الامونيا (NH_3) عند توفر الطاقة والهيكل الكاربوني . كما لوحظ وجود حالة تنافس على امتصاص بين هذين الايونين فقد وجد Minotti واخرون (١٩٦٩) ان امتصاص النترات يقل بازدياد تركيز الامونيا في محلول التربة . ويعتقد الباحثون ان انخفاض امتصاص النترات في المحيط القاعدي قد يعود الى التنافس بين امتصاص وانتقال هذا الايون وايون الهيدروكسيل (OH^-) الذي يكون سائداً تحت ظروف الـ (pH) المرتفع . مما تقدم يتضح ان سبب الاختلاف في امتصاص ايونات الامونيوم والنترات هو درجة حموضة محلول التربة ولا يعود الى الحالة الفسلجية للنبات او الفرق في سرعة تمثيل هذين الايونين داخل النبات . ويعتقد Epstein (١٩٧٢) انه في الترب ذات التهوية الجيدة يكون امتصاص النترات هو المصدر الاساس لتجهيز النتروجين وان النباتات النامية في مثل هذه التربة تكيفت لامتصاص النتروجين بصورة نترات بالرغم من وجود عدد كبير من انواع هذه النباتات يمكنها امتصاص ايون الامونيوم والاستفادة منه ولكن تظهر عليها اعراض متعددة عندما تكون ايونات الامونيوم هي المصدر الوحيد للنتروجين (Sheat Street ، ١٩٥٨ و Barker وآخرون ١٩٦٦) . وربما يعود ذلك الى زيادة الامونيا (NH_3) ذات التأثير السام حيث ان اغشية الكلوروبلاست تتشوه وتتمزق بزيادة امتصاص الامونيوم (Puritch و Barker ، ١٩٦٧) .وبصورة عامة يتم تمثيل الامونيا مباشرة بعد امتصاص ايونات الامونيوم وينتج عن ذلك الاحماض الامينية والمركبات الاخرى المحتوية على النتروجين بصورة مختزلة . ويتطلب من التمثيل الضوئي توفير هذه الكربوهيدرات والا ستحصل حالة استنزاف شديد وبما إن تمثيل الامونيوم سريع لذلك نادراً ما تحصل زيادة في تركيز الامونيا في انسجة النبات . اما ايونات النترات فانها تختزل بعد الامتصاص الى النتريت (NO_2) ثم الامونيا (NH_3) قبل ان تدخل في تركيب المركبات النتروجينية العضوية لذلك فان الحاجة المباشرة الى الكربوهيدرات عند التغذية بالنترات ستكون اقل مقارنة بالامونيوم وبذلك قد يحصل تراكم للاحماض العضوية والنترات في انسجة النبات (Epstein ، ١٩٧٢) تضاف اليوريا ($CO(NH_2)_2$) كسماد نتروجين ايضا حيث يتحول هذا المركب في التربة بفعل انزيم اليوريز (Urease) الى الامونيوم حسب المعادلات الاتية :

$$NH_2 - - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - NH_2 + H_2\dot{O} \xrightarrow{\text{Urease}} (NH_4)2CO_3$$

$$(NH_4)_2CO_3 + 2H^+ \text{ —— } 2NH_4 + CO_2 + H_2O$$

للنبات القابلية على امتصاص اليوريا مباشرة حيث وجد **Kirkby** و **Mengel** (١٩٧٠) من خلال دراسة على نبات عباد الشمس ان معدل سرعة امتصاص اليوريا يكون اوطأ بكثير مقارنة بامتصاص النترات حيث تمت مقارنة الصورة المختلفة من النتروجين وتأثيرها على انتاج المادة الجافة وامتصاص وتركيز عنصر النتروجين في المادة الجافة في هذه النباتات كما في الجدول (١ ـ ١)

جدول ١ ـ ١ : تأثير صورة ومستويات النتروجين على الحاصل وتركيز وامتصاص النتروجين بواسطة نباتات عباد الشمس (مأخوذ من **Mengely, Kirkdy** ، ١٩٧٠)

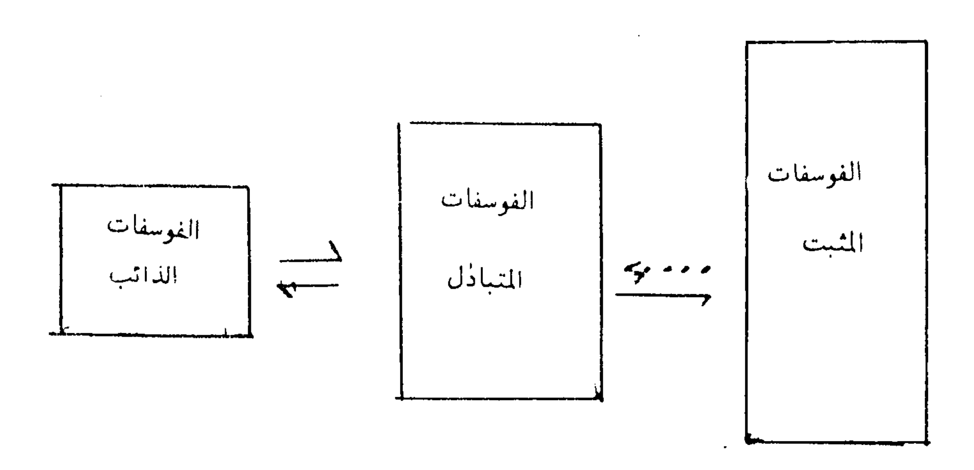
تركيز وصورة النتروجين في المحلول المغذي (مليمول)	الحاصل (غم مادة جافة ٢٤ نبات)	تركيز النتروجين النسبة المئوية (على اساس الوزن الجاف)	امتصاص النتروجين (ملغم / ٢٤ نبات)
٢ نترات	٢٥,٤	٥,٨٠	١٤٧٥
٢ يوريا	١١,٦	٥,٣٠	٣٨٤
٤ يوريا	١٤,٩	٥,٦٧	٦٩٦
٨ يوريا	١٧,١	٥,٧٩	٩٨٧

توضح هذه الدراسة التي اجريت في مزرعة مائية ان كمية المادة الجافة الناتجة عن اضافة ٢ ملي مول نتروجين بصورة نترات كانت اعلى من المادة الجافة الناتجة عن اضافة ٨ ملي مول نتروجين بصورة يوريا . وقد اعزى ذلك الى ان اليوريا تسبب ارباك في تصنيع البروتينات مما ينتج عنه تراكم في الحامض الاميني الاسبارجين (Aspargine) في انسجة النبات (حامض اميني ذائب) وبالتالي عرقلة النمو هذا اضافة الى ماتسببه اليوريا في قلة امتصاص النتروجين . وفي

دراسة اخرى اجراها Hentsche (١٩٧٠) حول تأثير الامونيوم واليوريا كمصادر للنتروجين على نبات الفاصوليا حيث استخدم النظير المشع للنتروجين (^{15}N) قد اوضحت الدراسة ان امتصاص الامونيوم كان اسرع من اليوريا .

الفسفور : P

الفسفور موجود في التربة بصورة أورثو فوسفات حيث يتراوح تركيزه بين ٠,٠٢ الى ٠,١٥ ٪ فسفور حيث يمثل الفسفور العضوي نسبة كبيرة من الفسفور الكلي حيث تتراوح نسبته بين ٢٠ الى ٨٠ ٪ من الفسفور الكلي . وما يخص تغذية النبات فيوجد ثلاثة صور من الفوسفات في التربة هي الفسفور الذائب في محلول التربة والفسفور المتبادل والفسفور المثبت (الغير متبادل) . الصورة الاولى تمثل الفوسفات الذائبة في محلول التربة والتي يمكن للنبات امتصاصها مباشرة اما الصورة الثانية فتمثل الفوسفات الممدودة على السطح غرويات التربة وتكون بحالة متبادلة مع الفوسفات بأستخدام النظائر المشعة من الفسفور (^{32}P) حيث تتبادل مع المدمصة لذلك سميت بالفوسفات المتبادلة . أما الصورة الثالثة فهي تمثل الفوسفات المتبادلة والمثبت ولكنه يمكن ان يتحرر وبصورة بطيئة جداً ليصبح في حالة الفوسفات المتبادلة والمخطط التالي يوضح حجم وعلاقة كل صورة من الفوسفات :



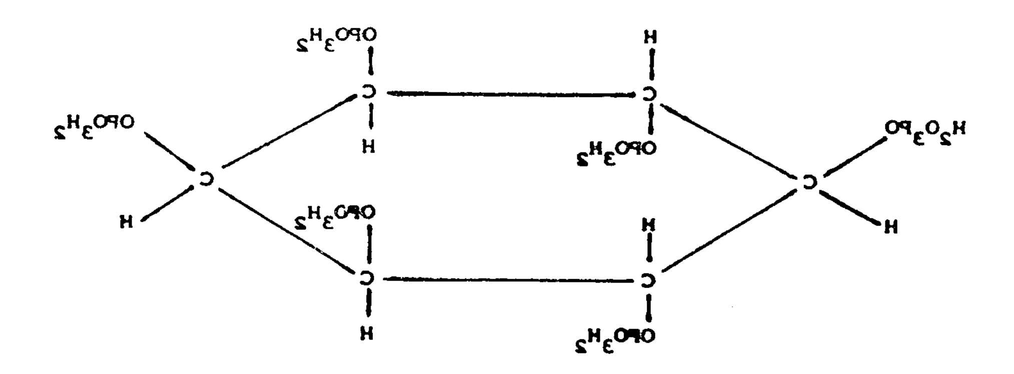
هناك محاولات عديدة لمعرفة نوع المعادن التي تثبت الفوسفات في التربة ولكن لم تصل هذه التجارب الى نتائج قطعية وربما يعود السبب الى ان فوسفات التربة غير نقية وهذا ما يؤثر على درجة ذوبانها وبالتالي تبادلها مع ايونات الفوسفات في

محلول التربة . وفي اغلب الترب تعتبر الابتايت (Apatites) وهو المركب اللاعضوي للفوسفات المثبتة وفوسفات كل من الكالسيوم والحديد والالمنيوم اضافة الى الفوسفات في التربة العضوية جميع هذه المركبات تحرر الفسفور ولكن بصورة بطيئة جداً لذلك تعتبر من ضمن الصورة الثالثة والجدول (١ ـ ٢) يوضح المعادن المحتوية على الفوسفات في التربة .

جدول (١ ـ ٢) المركبات المعدنية المهمة المحتوية على الفوسفات في التربة (محرر عن Kirkby, Meagel) ١٩٨٢ .

المركب المعدني		الصيغة الكيمياوية
هيدروكسي الابتايت		$Ca_5(PO_4)_3OH$
فلورات الابتايت		$Ca_5(PO_4)_3F$
الفوسفات ثنائية الكالسيوم		$CaHPO_4$
الفوسفات ثلاثية الكالسيوم		$Ca_3(PO_4)_2$
فوسفات الالمنيوم	(Variscite)	$Al\,H_2PO_4(OH)_2$
فوسفات الحديد	Strengite)	$Fe\,H_2PO_4(OH)_2$

للفسفور اهمية كبيرة في العمليات الحيوية التي تحتاج الطاقة حيث انه يدخل في تركيب الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يعتبر الاساس في تجهيز الطاقة في جميع الخلايا الحية كما يدخل في تركيب الفوسفوليبدات بما في ذلك التي تدخل في تركيب الاغشية الخلوية وكذلك تركيب الاحماض النووية والمرافقات الانزيمية ($NADP^+$. NAD^+) وفي تركيب حامض الفايتيك (Phytic acid) الذي يمثل الصورة الخازنة للفوسفات في البذور وتركيبه الجزيئي هو .

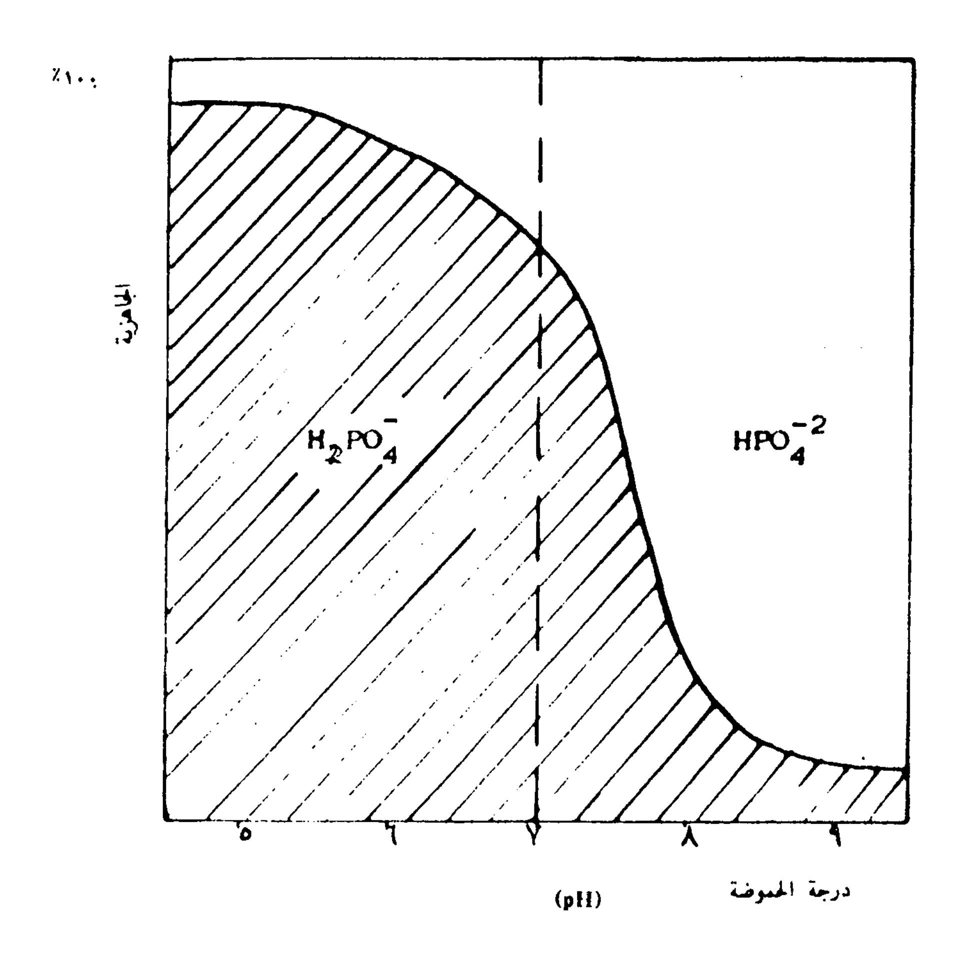


phyticacid

لذلك فإن نقص هذا العنصر يسبب اختلال كبير في كافة العمليات والفعاليات الحيوية المرتبطة بنمو النبات . يوجد الفسفور في محلول التربة بتركيز منخفض جداً مقارنة بالفسفور على اسطح غرويات التربة حيث أن تركيز الفسفور المدمص يعدل ١٠٠ الى ١٠٠٠ ضعف تركيزه في محلول التربة . ولقد وجد من الدراسات ان تركيز الفسفور في الترب الخصبة الغنية لا يزيد عن ٠,٣ الى ٣ جزء في المليون . ومحلول التربة يحتوي على الفسفور بصورة ايونات لاعضوية على هيئة H_2PO_4 ، HPO_4^{2} وان جاهزية احد هذين الايونين على الاخر تعتمد على درجة حموضة محلول التربة . ففي الترب الحامضية ذات التركيز العالي من الهيدروجين (pH) اقل من ٧ يكون ايون الـ (H_2PO_4) هو السائد كما في المعادلة التالية :

$$HPO_4^{2-} + H^+ \rightleftharpoons H_2PO_4$$

وفي محلول التربة المتعادل الحموضة (pH = ٧) يكون الـ HPO_4^{2} هو السائد كما موضح في الخط البياني التالي (شكل ١ ـ ٢) .



شكل ١ ــ ٢ : تأثير درجة حموضة التربة (pH) على جاهزية الصور المختلفة من الفسفور (محرر عن Mengel و Kirkby ، ١٩٨٢) .

كما ان جاهزية الفسفور للنبات تتأثر بعوامل عديدة اخرى فدرجة ذوبان الحديد او الالمنيوم لها تاثير كبير على جاهزية الفسفور للنبات . ففي الترب التي يكون فيها تركيز هيدروكسيدات الحديد او الالمنيوم عالي تتحد هذه الهيدروكسيدات مع الفسفور وتكون مركبات فوسفاتية غير ذائبة لايمكن للنبات الاستفادة منها كما في المعادلات التالية :

$$Al(OH)_3 + H_2PO_4 \rightarrow Al(OH)_2H_2PO_4$$
$$Fe(OH)_3 + H_2PO_4 \rightarrow Fe(OH)_2H_2PO_4$$

وهذا مايحصل فعلاً تحت ظروف الـ pH المنخفض كما ان جاهزية الفسفور تعتمد ايضاً على جاهزية الكالسيوم فالمركبات الفوسفاتية (أحادية الشحنة ($Ca(H_2PO_4)_2$ تكون سهلة الذوبان بالماء ويمكن للنبات الاستفادة منها في حين الفوسفات ثنائية الشحنة ($CaHPO_4^{2-}$) تكون درجة ذوبانها بالماء قليلة وبطيئة لذلك تكون فائدتها في تجهيز الفسفور للنبات قليلة . اما المركبات الفوسفاتية ثلاثية الشحنة ($Ca(PO_4)_2^{3-}$) والتي غالباً ماتكون سائدة تحت ظروف التربة القلوية (pH اكبر من ٧) فانها غير ذائبة في الماء ولايمكن للنبات الاستفادة منها . كذلك يوجد الفسفور في محلول التربة بصورة حامض الفسفوريك (H_3PO_4) ولكن ليس له اهمية في عملية الامتصاص من قبل الجذور وذلك لتواجده عند الـ pH المنخفض جداً . ومن العوامل الاخرى التي تؤثر على جاهزية الفوسفور هي قابلية التربة لتبادل الايونات السالبة (Anion exchange) ففي حالة اضافة الكلس (lime) الذي هو اما بصورة كاربونات الكالسيوم ($CaCo_3$) أو هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(OH)_2$) أو أوكسيد الكالسيوم (CaO) الى الترب الحامضية يسبب رفع الـ pH وبالتالي تحرير الفسفور من فوسفات الحديد والالمنيوم كما ان ايونات الهيدروكسيل (OH^-) تحل محل ايونات الفوسفات المدمصة على أسطح غرويات التربة وبالتالي يتحرر الفسفور حسب المعادلة التالية :

غرويات الطين — $PO_4H_2^-$ + OH^- $\overset{\text{lime كلس}}{\rightleftharpoons}$ غرويات الطين — OH^- + $H_2PO_4^-$

المحيط الحامضي   محيط متعادل

على ان لايرفع الـ pH الى اعلى من درجة التعادل حيث قد يسبب ارتفاع الـ pH نحو القاعدية الى قلة جاهزية الفسفور ثانية نتيجة لترسبه على هيئة فوسفات الكالسيوم ($Ca_3(PO_4)_2$) .

امتصاص الفسفور يتم عن طريق جذور النباتات النامية في التربة حيث تكون هذه الجذور بتماس مع محلول او ذرات التربة فتقوم بامتصاص الفسفور ونتيجة لذلك يحصل فرق في التركيز بين المحلول القريب من أسطح الجذور والمحلول البعيد عنها . ونتيجة لتدرج التركيز ينتقل الفسفور الى أسطح الجذور بعملية التنافذ (Diffussion) وهذا ما أوضحته تجارب Bhat و Nye (١٩٧٤) على نباتات البصل .

كما ان هناك انتقال كتلي للفسفور في التربة بواسطة حركة الماء لكنه ضئيل جداً (Bole ، ١٩٧٣) وهناك دلائل تشير الى ان امتصاص الفسفور يتأثر باصابة الجذور ببعض الانواع من الفطريات . فقد وجد Sanders و Tinker (١٩٧٣) ان جذور البصل المعاملة بفطريات الـ endotrophic mycorrhiza التعايشية سبب زيادة في امتصاص الفسفور مما انعكس ايجابياً على النمو . وكانت هذه الزيادة ممثلة بوحدة الطول للجذور (أي كمية الفسفور الممتص بواسطة وحدة واحدة من طول الجذور) . كما وجد Menary, Temple-Smith (١٩٧٤) ان امتصاص الفسفور بواسطة جذور اللهانة في التربة الغير معقمة كانت ضعف ماهو عليه في الترب المعقمة . وقد اعزى ذلك الى ان هايفات الفطريات تمتص الفسفور وتنقله الى النبات المضيف . اما محتوى التربة من الفسفور فيعتقد Mengel و Kirkby (١٩٨٢) انه عندما يكون تركيز الفسفور في محلول التربة ١٠.$^{-٤}$ وزن جزيئي من الفسفور الجاهز للنبات تعتبر التربة غنية بهذا العنصر اما اذا كان تركيزه ١٠.$^{-٦}$ وزن جزيئي من الفسفور الجاهز فتعتبر التربة فقيرة وستظهر اعراض نقصه على النباتات النامية في تلك التربة . لكن يجب التأكيد بان تركيز الفسفور الجاهز في محلول التربة الملائم لنمو النباتات يختلف باختلاف نوع النباتات وطريقة الزراعة ونوع التربة . كما ان محتوى النباتات من الفسفور يختلف باختلاف النباتات والجزء النباتي المأخوذ للتحليل وبصورة عامة فان نسبة الفسفور تتراوح بين ٠,٢ الى ٠,٨ ٪ من الوزن الجاف لانسجة النباتات .

وهناك ابحاثاً أعطت ارقاماً أعلا من ٠,٨ ٪ وبدون حدوث سمية لنبات الطماطة (Hall ، ١٩٨٣) . تدخل الفوسفات الممتصة في العمليات الحيوية مباشرة بعد امتصاصها فقد ذكر Jackson و Hagen (١٩٦٠) إن ٨٠ ٪ من الفوسفات الممتصة تدخل في تركيب المركبات العضوية بعد عشرة دقائق فقط من امتصاصها والفسفور في النباتات يكون اما بصورة املاح الفوسفات ولكن اغلب الفسفور يدخل في تركيب الاحماض الامينية والنووية والبروتينات والفسفواسيبيدات .

البوتاسيوم : **K**

ان معدل محتوى الصخور الارضية من هذا العنصر قد يصل الى ٢,٣ ٪ . ويوجد البوتاسيوم في التربة بثلاث صور حيث ان قسم منه يدخل في تركيب المعادن كما في السليكا والمايكا (Mica) والقسم الاخر هو البوتاسيوم المدمص على اسطح غرويات التربة كما في حالة معادن الطين مثل طبقات الايلايت (Illite) والفيرمسيكولايت (Vermiculite) والكلورايت (Chlorite) والمواد العضوية اما

القسم الثالث هو البوتاسيوم الذائب في محلول التربة . وبصورة عامة يمثل البوتاسيوم الذي يدخل في تركيب المعادن النسبة العظمى من محتوى التربة من البوتاسيوم في حين ان البوتاسيوم المدمص على اسطح غرويات التربة (المتبادل) يشكل ١ ـ ٣ ٪ من مجموع بوتاسيوم التربة اما البوتاسيوم الذائب فانه يمثل نسبة ضئيلة من البوتاسيوم المدمص حيث يشكل ١ ٪ من K الكلي . ان العلاقة بين هذه الاقسام الثلاثة من البوتاسيوم هي ان البوتاسيوم يتحرر نتيجة لتعرية الصخور ويذوب في محلول التربة فاما انه يمتص مباشرة من قبل النباتات أو انه يدمص على اسطح الغرويات وهناك علاقة توازن بين بوتاسيوم محلول التربة والبوتاسيوم المدمص . وقد لوحظ وجود مواقع معينة لامتصاص البوتاسيوم على اسطح غرويات التربة وبزيادة هذه المواقع ينتج عنه زيادة في امتصاص البوتاسيوم وقلة في تركيزه في محلول التربة والعكس صحيح (Nemeth واخرون ، ١٩٧٠) .

وبالرغم من ان البوتاسيوم لايدخل في تركيب اي مركب عضوي في النباتات لكنه يعتبر الايون الاحادي الموجب الوحيد الذي تحتاجه كل النباتات الراقية . وفي الحقيقة جميع الاحياء عدى بعض المجهريات التي تستبدل حاجتها من البوتاسيوم بمنصر الربديوم (Ru) ينشط البوتاسيوم عدد كبير من الانزيمات فيها حيث ذكر (Evans و Sorger، ١٩٦٦) ان البوتاسيوم ينشط ٦٦ انزيم . هناك بعض الحالات التي يتم فيها استبدال البوتاسيوم بايونات احادية موجبة اخرى مثل الربديوم أو الامونيوم (NH_4^+) كمنشطات انزيمية ولكن الفعالية التنشيطية لهذه الايونات البديلة تكون اقل من تلك التي يؤديها البوتاسيوم . من الملاحظ ان جميع العناصر المعدنية التي لها فعالية في تنشيط الانزيمات أو كمرافقات انزيمية تحتاجها هذه الانزيمات بتراكيز منخفضة جداً عدى البوتاسيوم الذي يحتاجه النبات بتراكيز عالية لغرض تنشيط الانزيمات . ويرجع السبب في ذلك الى ضعف قابلية هذا العنصر بالارتباط مع المركبات العضوية بما في ذلك الانزيمات . لذلك فان كثير من الانزيمات تحتاج الى تركيز حوالي ٥٠ الى ١٠٠ ملي مول بوتاسيوم للقيام باقصى فعالية لها . وربما يشير ذلك الى انه في مثل هذه التراكيز المرتفعة اما انه يحدث تفاعل بين البوتاسيوم والانزيم أو ان الانزيم ينشط عمله من خلال الارتباط بين البوتاسيوم والوسط (Hiatt و Evans ، ١٩٦٠) . وللبوتاسيوم تأثير تنشيطي لانزيمات تصنيع البروتينات بالرغم من انه غير مرتبط بهذه الانزيمات حيث ان الانزيمات التي تنشط بالايونات الاحادية الموجبة هي الانزيمات التركيبية (Synthetases) وانزيمات الاكسدة والاختزال (Oxidase-reductase) وانزيمات اضافة الهيدروجين (Hydrogenase) والانزيمات الناقلة (Transferases) وانزيمات الطاقة (Kinase) من ذلك يتضح ان البوتاسيوم مسؤول عن عدة مراحل

في تصنيع البروتينات (Wildes, Evans ، ١٩٧١) . ويلعب البوتاسيوم دور فعال في تنظيم الضغط الازموزي داخل خلايا النبات . فمثلا تراكم البوتاسيوم في الاوعية الخشبية بسبب خفض الجهد الازموزي (Potential Osmatic) للمحلول في هذه الاوعية وبالتالي يساعد على زيادة امتصاص الماء وتكون مايسمى بضغط الجذور (root Pressure) كما ان ارتفاع تركيز البوتاسيوم في خلايا الطبقة الوسطية للورقة (Mesophyll cells) يعمل على خفض الضغط الازموزي بنفس الطريقة السابقة . لهذا التأثير فوائده حيث انه يزيد من قابلية النبات على الاحتفاظ بالماء وبالتالي يقلل من استهلاك الماء . حيث لاحظ Brag (١٩٧٢) ان النباتات التي تجهز بالبوتاسيوم بصورة جيدة تستهلك ماء أقل لانتاج المركبات العضوية مقارنة بتلك التي تعاني من نقص البوتاسيوم وان انخفاض الفقد في الماء من النباتات المجهزة بالبوتاسيوم الملائم يعود الى النقص في معدل الماء المفقود بعملية النتح والذي لايعتمد فقط على الضغط الازموزي لخلايا الطبقة الوسطية في الورقة ولكنه يعتمد ايضاً على غلق وفتح الثغور بدرجة كبيرة . وقد وجد Humble و Raschke (١٩٧١) انه عندما يكون محتوى الخلايا الحارسة من البوتاسيوم مرتفع تكون الثغور مفتوحة ويعتقد ان النبات يصرف طاقة لمراكمة البوتاسيوم في هذه الخلايا ومصدر هذه الطاقة هو ماينتج من الـ ATP في تفاعلات الضوء (Photosynthetic Phosophorylation) في عملية التمثيل الضوئي اثناء النهار وعند حلول الظلام يتوقف تجهيز هذه الطاقة وبالتالي خروج البوتاسيوم من هذه الخلايا مما يسبب غلق الثغور . ويمكن ان يفسر ذلك انه عند تواجد K بصورة عالية تسبب زيادة في تصنيع الكربوهيدرات في الخلايا الحارسة وبالتالي زيادة سالبية الجهد المائي مما يؤدي الى انتقال الماء اليها من الخلايا المجاورة وبذلك يزداد انتفاخ Turgidity هذه الخلايا وتؤدي بالتالي الى فتح الثغور . اما في الليل فان CO_2 لايستخدم في تصنيع الكربوهيدرات فيذوب في الماء مكوناً حامض الكربونيك مما يسبب خفض الـ pH وتحت هذه الظروف تتحول السكريات الى نشا الذي لايذوب في الماء ويعتبر غير نشط ازموزياً وبالتالي يؤدي الى غلق الثغور . لقد لاحظ بعض الباحثين ان المواد الكربوهيدراتية والمركبات النتروجينية الذائبة تتراكم عندما يعاني النبات من نقص البوتاسيوم . واعزى ذلك الى فشل النبات في تصنيع البروتينات من الاحماض الامينية وبالتالي يزداد تركيز الاخيرة في خلايا النبات . كما ان نقص هذا العنصر يسبب خفض في معدل سرعة النمو وعند تقدم الحالة تبدأ الاوراق بالاصفرار وتموت انسجتها .

وتظهر اعراض نقص هذا العنصر على الاوراق القديمة لانه عنصر متنقل في النبات . نقص البوتاسيوم يسبب ضعف في مقاومة النباتات للجفاف وزيادة حساسيتها للتأثر بالصقيع والاصابات الفطرية .

إن امتصاص البوتاسيوم من محلول التربة يعتبر امتصاص نشط لانه عكس تركيز الايون كما ذكر Dunlop و Bowling (١٩٧١) وقد وجد ان البوتاسيوم في دوران مستمر داخل انسجة النبات حيث لاحظ Armstrong و Kirkby (١٩٧٩) ان ٢٠٪ من البوتاسيوم الموجود في خشب نباتات الطماطة هو في الحقيقة متأتي من ذلك الموجود في الاوراق القديمة .

الكالسيوم Ca

يوجد الكالسيوم بعدة صور من خلال دخوله في تركيب عدد من المركبات المعدنية في التربة وتحتوي الصخور الارضية على ٣,٦٤٪ من وزنها كالسيوم حيث يدخل الكالسيوم في تركيب الفيلوسارات Feldspars والامفيبولات Amphiboles ويتحد مع الفوسفات والكاربونات ليكون فوسفات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم على التوالي . يكون الكالسيوم في الترب الكلسية اما بشكل كاربونات ($CaCO_3$) او دولامايت $CaCO_3$-$MgCO_3$ وتركيز الكالسيوم في التربة يختلف باختلاف نوع التربة ودرجة التعرية .

فالترب المتكونة من صخور اللايمستون (Limestone) تكون عادة غنية بالكالسيوم بشكل كاربونات حيث يتراوح تركيز الكالسيوم فيها بين ١٠ الى ٢٠٪ . كما ان هناك بعض الظروف التي تؤثر على وجود الكالسيوم في التربة . فالترب التي تعرضت الى التعرية لفترة زمنية طويلة وتحت ظروف الرطوبة المرتفعة يحصل غسل للمعادن وبالتالي تكون فقيرة الكالسيوم . اما في الظروف الجافة فيتراكم الكالسيوم في الطبقات العلوية من التربة على هيئة جيبسم Gypsum ($CaSO_4 - 2H_2O$) .

للكالسيوم دور فعال في انقسام الخلايا في النبات كما ان هناك ادلة تشير الى ان للكالسيوم اهمية كبيرة في حيوية اغشية الخلية حيث ان الدراسات الدقيقة توضح ان الكالسيوم موجود بين جدار الخلية وسطح السايتوبلازم المتاخم له حيث ان تركيزه مرتفع في الطبقة الوسطية لجدار الخلية Plasmalemma وفي بعض الدراسات تمكن الباحثون من ازالة هذا الكالسيوم باضافة المادة المخلبية (EDTA) (Ethylenediaminetertraacetic acid) حيث أن المعاملة بهذه المادة سببت زيادة في نفاذية اغشية الخلية لدرجة ان المركبات العضوية واللاعضوية امكنها النفاذ من تلك الاغشية (Van Stevenink ، ١٩٦٥) وربما تسبب هذه الزيادة في النفاذية تلف الانسجة . وعند تقدم الحالة بنقص الكالسيوم تتأثر الانسجة الفتية كالقمم النامية في الجذور

والمناطق المرستيمية في الجزء الخضري والاجزاء الخازنة . كما انه يؤثر على عمليات التلقيح والاخصاب حيث ان حبوب اللقاح الناتجة من نباتات تعاني من نقص الكـــالسيوم لاتنبـــت ولا ينمو الانبوب اللقـــاحي Brewbaker و Kwack ، (١٩٦٣) كما ان للكالسيوم دور في منع تساقط الاوراق وتأخير دخولها في مرحلة الشيخوخة وسنتطرق الى تفاصيل اخرى عن نقص الكالسيوم في الفصل الثالث . ان الكالسيوم يعكس الايونات الموجبة الاخرى وينشط عدد قليل من الانزيمات كما انه يثبط العمل التنشيطي للانزيمات المنشطة بواسطة المغنيسيوم وذلك بواسطة احلاله محل المغنيسيوم . ان تركيز الكالسيوم في محلول التربة قد يصل الى عشرة اضعاف تركيز البوتاسيوم ولكن كمية الممتص منه بواسطة النبات هي اقل من البوتاسيوم وربما يعود ذلك الى ميكانيكية امتصاص الكالسيوم منها . اي ان النبات لم تكن له ميكانيكية متطورة مشابهة للبوتاسيوم مثلا . ولم يكن واضح لحد الان ما اذا كان امتصاص الكالسيوم هو امتصاص نشط او امتصاص حر . فقد وجد Maas (١٩٦٩) مثلاً ان امتصاص الكالسيوم بواسطة جذور الذرة في التراكيز المنخفضة من الكالسيوم في المحلول المغذى (٠,٠٠٥ ــ ٠,٠٥ ملي مول كالسيوم) كان امتصاص مسيطر عليه حيويا اي انه امتصاص نشط في حين في التراكيز المرتفعة (٥ ــ ٥٠ ملي مول كالسيوم) كانه الامتصاص بعملية التنافذ اي انه امتصاص حر .

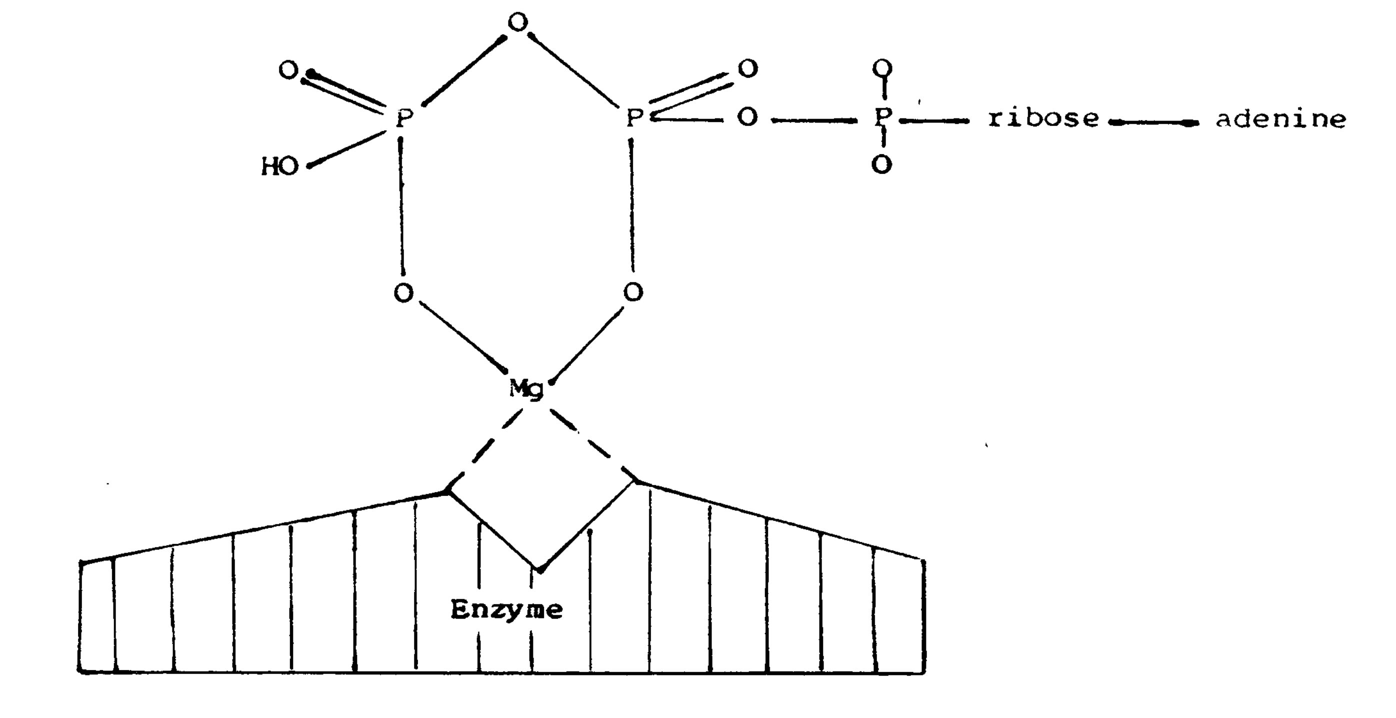
وامتصاص الكالسيوم يتأثر بوجود الايونات الاخرى في محلول التربة حيث يزداد امتصاصه بوجود الايونات السالبة مثل No_3^- ,Cl^- ,SO_4^{2-} في حين يقل بوجود الايونات الموجبة مثل الامونيوم (NH_4^+) (Pill وآخرون ، ١٩٧٨) . كما ان امتصاص الكالسيوم (وكذلك المغنيسيوم) يزداد كلما اقتربنا من القمم النامية للجذور او مناطق التفرعات الجذرية . حيث يعتقد Russell و Clarkson (١٩٧٦) انه كلما تقدم الجذر بالعمر تصبح البشرة الداخلية (Endodermis) متثخنة بسبب ترسب مادة السيوبرين (Suberin) والتي تشكل مايسمى بشريط كاسبر (Casparian strip) ولكن الخلايا (خلايا القشرة والطبقة الداخلية للبشرة) تبقى متصلة فيما بينها بواسطة جسور دقيقة جداً تسمى البلازموديزماتا (Plasmodesmata) بما ان الطبقة الداخلية متثخنة فهي تمنع مرور الكالسيوم وبقية الايونات من خلال المسافات البينية بين خلايا هذه الطبقة (اي يتوقف الانتقال بواسطة Apoplasm لذا يجب ان يدخل الكالسيوم الى سايتوبلازم خلايا الطبقة الداخلية ليتسنى له الانتقال الى خلايا الخشب وهذا النوع من الانتقال يسمى Symplasm . لكن من نتائج بعض الدراسات لوحظ ان الكالسيوم بطيء الانتقال بواسطة الـ Symplasm لذلك فان امتصاصه وانتقاله الى خلايا الخشب

يكون في المناطق التي يكون فيها الطبقة الداخلية من الجذور غير متثخنة وتكون عادة على بعد عدة مليمترات من قمة الجذور او المناطق التي تشققت فيها الطبقة الداخلية المتثخنة وهي موقع نشوء التفرعات الجذرية اكبر مقارنة ببقية مناطق الجذور .

المغنيسيوم Mg

يتراوح تركيز المغنيسيوم في الترب بين (٠,٠٥ الى ٠,٥ ٪ حيث انه يعتمد على نوع التربة فيكون مرتفع في الترب الطينية ومنخفض في الترب الرملية . ويوجد المغنيسيوم بتراكيز مرتفعة في معادن البابوتايت (Biotite) والسيربنتاين (Serpetine) والهوربنليند (Hornblande) والاوليفين (Olivine) كما انه يوجد في الاطيان المختلفة مثل الفيرميكولايت (Vermiculite) والايلايت (Iilite) والمنتموريلونايت (Montmorillonite) ويوجد ايضا في الترب بصورة كاربونات المغنيسيوم ($MgCo_3$) او بصورة دولومايت ($CaCo_3 . MgCo_3$) اما في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة فانها تحتوي على كميات كبيرة من المغنيسيوم بشكل كبريتات المغنيسيوم . حالة المغنيسيوم في الترب تشابه حالة البوتاسيوم اي انه موجود بصورة ذائبة في محلول التربة وقسم منه متبادل والقسم الاخر هو المثبت او الغير متبادل . يمثل القسم الاخير حوالي ٩٥ ٪ من المغنيسيوم في التربة ويشمل المغنيسيوم الداخل في تركيب المعادن وكذلك معادن الطين في حين ان القسمين الاخرين يمثلا ٥ ٪ وبالرغم من ذلك فان تركيز المغنيسيوم في التربة يعتبر عالى ويماثل تركيز الكالسيوم (٢ ــ ٥ ملي مول مغنيسيوم) ولكن هذا الرقم قد يختلف باختلاف نوع التربة كما قد يوجد المغنيسيوم بصورة [illegible] مع المواد العضوية الا ان كميته قليلة جداً .

يعتبر المغنيسيوم منشط انزيمي اكثر من أي عنصر آخر حيث انه يدخل في عدد من التفاعلات الانزيمية كما انه يشجع كافة الانزيمات التي تعمل على اوساط تحتوي على الفسفور كما في الشكل التالي (شكل ١ ــ ٣) .



شكل (١ ـ ٣) : يمثل فعل الذي يعمل كجسر لربط الانزيم بالـ **ATP** (ماخوذ عن **Bidwell** ١٩٧٩).

المغنيسيوم يدخل في تركيب جزيئة الكلوروفيل حيث تمثل ذرة المغنيسيوم مركز جزيئة الكلورفيل وهذه الذرة ثابتة لايمكن ان تنفصل وتبلغ نسبته حوالي ٢,٧ ٪ من الوزن الجزيئي للكلوروفيل . المخطط التالي يوضح موقع المغنيسيوم في جزيئة الكلوروفيل شكل ١ ــ ٤ .

شكل ١ ــ ٤ : جزيئة الكلوروفيل وموقع المغنيسيوم فيها .

بالرغم من دخوله في جزيئة الكلوروفيل الا ان وزن هذا المغنيسيوم لا يعادل الا ١٠ ٪ من مجموع وزنه في الورقة حيث ان اكثر من نصف مغنيسيوم الورقة يوجد في الكلوروفيلاست (Stocking و Ongum ، ١٩٦٢) كما ان المغنيسيوم ضروري لثبوتية الرايبوسومات وربطها مع بعضها ويوجد المغنيسيوم في انسجة النبات متحد مع ايونات سالبة مكوناً مركبات لاعضوية (املاح) أو متحد مع احماض عضوية مثل حامض الماليك والستريك . كما انه يتحد مع الاوكزالات والبكتات مكوناً مركبات غير ذائبة (Kirkby و Mengel ، ١٩٦٧) . يمتص المغنيسيوم بواسطة النبات بكميات قليلة مقارنة بالكالسيوم والبوتاسيوم حيث ان تركيزه في انسجة النبات حوالي ٠,٥ ٪ من الوزن الجاف . وللايونات المنافسة للمغنيسيوم اهمية كبيرة في امتصاص هذا العنصر وقد تؤدي الى قلة امتصاصه وظهور اعراض

نقصه على النبات . فمثلاً التغذية بالامونيوم (NH_4^+) تتنافس مع ايون المغنيسيوم (Mg^{2+}) على الامتصاص لتشابه شحنتيهما . وبالرغم من ان سبب هذا التنافس غير معروف لكنه قد يعود الى تحرر ايون الهيدروجين (H^+) اثناء تمثيل الامونيوم داخل انسجة النبات كايون موجب وبالتالي يعادل الشحنات السالبة داخل هذه الانسجة كما ان Mulder (١٩٥٠) حصل سابقاً على نتائج مماثلة عندما غذيت النباتات بمحلول يحتوي على تركيز عالي من البوتاسيوم حيث يتنافس البوتاسيوم مع المغنيسيوم على الامتصاص وقلل من امتصاصه . وبالمقابل لاحظ Mass و Ogata (١٩٧١) ان وجود ايونات الكالسيوم (Ca^{2+}) تشجع من امتصاص المغنيسيوم . ومن تجارب Dunlop (١٩٧٥) وجد انه امتصاص المغنيسيوم هو امتصاص نشط حيث تنشط امتصاصه عند معاملة النبات ببعض المنشطات الحيوية . كما ان انتقال هذا العنصر داخل النبات يشابه الى حد ما انتقال الكالسيوم حيث يوجد بتراكيز عالية في الاوراق القديمة ولكنه يختلف عن الكالسيوم بان له القابلية على الانتقال في اللحاء . فقد لاحظ Steucek وKoontz (١٩٧٠) ان المغنيسيوم المشع (^{28}Mg) انتقل في لحاء نباتي الفاصوليا والشعير مما يشير الى ان له القابلية على الانتقال من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة عند تعرض النبات لنقص هذا العنصر . اعراض نقص المغنيسيوم عبارة عن بقع صفراء على الاوراق وموت وتيبس طرف الورقة عند تقدم الحالة . وهناك دلائل تشير الى أن نقص المغنيسيوم يسبب ارباك في الصيغة التركيبية للكلوروبلاست حيث أن عدد الكرانا (Grana) ينخفض كثيراً ويصبح شكلها غير منتظم .

الكبريت : S

يوجد الكبريت في التربة بصورتين هما العضوية واللاعضوية فالكبريت العضوي يمثل القسم الاكبر من الكبريت الموجود في التربة ويكون اما مرتبط مع الكاربون مباشرة أو غير مرتبط بالكاربون . فلقد ذكر Freney و Stevenson (١٩٦٦) ان المركبات المحتوية على الكبريت الغير مرتبط بالكاربون مباشرة هي المركبات الفينولية والليبيدات وسلفات الكولين (Choline sulphate) اما المركبات العضوية التي يرتبط فيها الكبريت بالكاربون مباشرة هي بعض الاحماض الامينية مثل السستين (Cystine) والسستاين (Cysteine) المثيونين (Methionine) . اما الكبريت اللاعضوي فيكون بصورة عامة على هيئة كبريتات (SO_4^{2-}) . يوجد الكبريت في المناطق الجافة في الطبقات العليا من التربة بصورة كبريتات الكالسيوم والمغنيسوم في حين في المناطق الرطبة تكون الكبريتات اما ذائبة في محلول التربة

أو مدمصة على اسطح الغرويات ومن ذلك يتضح ان محتوى التربة من الكبريت يعتمد اساساً على محتواها من المادة العضوية والظروف البيئية السائدة .

يتحرر الكبريت العضوي الى التربة بفعل الاحياء المجهرية حيث يكون بصورة غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S) , وتتم اكسدة هذا الغاز بفعل بكتريا الكبريت التابعة للجنسين Thiothrix و Beggiatoa تحت الظروف الهوائية أو ظروف التنفس اللاهوائي الى حامض الكبريتيك . اما الكبريت النقي (S) يمكن ان يتأكسد الى حامض الكبريتيك ايضاً بفعل بكتريا (Chemotrophic) التابعة للجنس Thiobacillu ويمكن توضيح هذه التفاعلات كما يلي : ــ

$$2H_2S + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2S + 122 \text{ كيلو سعره}$$

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + 282 \text{ كيلو سعره}$$

$$2H_2S + 4O_2 \rightarrow 2H_2SO_4 + 404 \text{ كيلو سعره} \quad \text{المجموع الصافي}$$

إن اكسدة الكبريت في التربة الى حامض الكبريتيك تسبب زيادة في حموضة التربة (اي خفض مقدار الدالة الحامضية) لذلك قد يضاف الكبريت إلى الترب القلوية لكي ينخفض الـ pH . وفي بعض الترب الغدقة قد يوجد الكبريت اللاعضوي على هيئة مركبات يدخل في تركيبها الكبريت بصورة مختزلة مثل الـ FeS_2 والـ FeS اضافة لوجوده بصورة H_2S . هذه المركبات يمكن ان تتأكسد كيمياوياً وبايولوجياً فيتحرر الكبريت وبالتالي يدخل في نفس التفاعلات السابقة كما في المعادلات التالية : ــ

$$FeS + H_2O + 1/2\,O_2 \xrightarrow{\text{اكسدة كيمياوية}} Fe(OH)_2 + S$$

$$2S + 2H_2O + 3O_2 \xrightarrow{\text{اكسدة بايولوجية}} 2H_2SO_4$$

اهمية الكبريت ترجع الى دخوله في تركيب بعض الاحماض الامينية كالسستين والسستاين والمثيونين كما انه احد عناصر بعض المركبات المهمة في العمليات الحيوية مثل الثايمين (Thiamine) والبايوتين (Biotin) والمرافق الانزيمي CoA . الكبريت يوجد في هذه المركبات على هيئة SH- حيث ان الكبريت بهذه الصورة يمثل الجزء

النشط في عمليات الاكسدة والاختزال ومساعدات انتقال الالكترونات . كما ان الكبريت يدخل في تركيب بعض المركبات الطيارة التي تعطى نكهة خاصة كما في حالة نباتات اللهانة والقرنابيط والبصل والثوم . وفي بعض الحالات قد يحل الكبريت محل الفسفور كمنشط لبعض الانزيمات .

نقص الكبريت في النباتات نادر الحدوث ونقصه يسبب مرض اصفرار الشاي . تظهر الاعراض على الاوراق الحديثة ثم يتدرج الاصفرار يتقدم العمر الى الاوراق القديمة . ويصاحب نقص الكبريت اضطرابات في الفعاليات الحيوية وربما يعود ذلك الى تراكم المركبات النتروجينية الذائبة وبعض الاحماض الامينية مثل الارجنين Arginine والكلوتامين (Glutamine) نتيجة لقلة أو بطيء تصنيع البروتينات منها . لقد قام Dijrshoorn واخرون (١٩٦٠) بدراسة تأثير مستويات مختلفة من الكبريت في مزرعة مائية على نباتات الشيلم (ryegrass) ووجدوا أن هناك علاقة وطيدة بين تصنيع البروتينات ذات المحتوى النتروجيني والبروتينات ذات المحتوي الكبريتي حيث استخدم النبات ٣٦ ذرة نتروجين لكل ذرة كبريت واحدة في هذه البروتينات ، في حين ان النسبة بين النتروجين الى الكبريت هي ١٥ / ١ اي يوجد النتروجين بمقدار ١٥ ضعف كمية الكبريت في انسجة هذه النباتات وبصورة خاصة فان النباتات تمتص الكبريت على هيئة كبريتات ثنائية الشحنة (SO_4^{2-}) كما ان امتصاص الكبريت غير حساس لدرجة حموضة التربة (pH) الا أن الباحثين Leggett و Epstein (١٩٦٥) وجدا ان امتصاص الكبريتات ينخفض كثيراً عندما تضاف السيلانيت (Selenate) والذي هو مشابه الى حدما من الناحية الكيمياوية للكبريتات (SO_4^{2-}) . وقد اعزى ذلك الى التنافس بين السيلانيت والكبريتات على الحوامل الناقلة المساعدة على الامتصاص على اسطح الجذور . وفي دراسة اخرى اجراها الباحثان Ansari و Bowling (١٩٧٢) باستخدام نبات عباد الشمس اوضحت بان امتصاص وانتقال الكبريت كان عكس التركيز والشحنة مما يدل على ان امتصاص هذا العنصر هو امتصاص نشط . للنباتات القابلية على امتصاص الكبريت من الجو ايضاً حيث يكون على هيئة غاز ثاني اوكسيد الكبريت (SO_2) فقد اوضحت بعض الدراسات ان اضافة غاز SO_2 للنباتات يساعد على التغلب على نقص الكبريت وفي تجارب اضيف فيها الكبريت المشع على شكل SO_2 وبعد التحليلات وجد ان هذا الغاز يمتص من خلال التغور الى داخل النبات ووجد انه دخل في تركيب بعض الاحماض الامينية والبروتينات في جميع اجزاء النبات .

العناصر المعدنية الصغرى

تكون هذه العناصر كمساعدات او منشطات لبعض العمليات الفسيولوجية في النباتات . بالرغم من ان هذه العناصر متوفرة في معظم ترب العالم لكنها قد تكون مفقودة من بعض الترب ويعود ذلك الى نوع الصخور المكونة لتلك الترب . هذا اضافة الى ان حموضة التربة (pH) ووجود العناصر المعدنية الاخرى وتركيز الاوكسجين في التربة جميعها عوامل مؤثرة على جاهزية هذه العناصر للنبات .

الحديد Fe

يمثل الحديد ٥ ٪ من وزن الصخور الارضية ويوجد في جميع انواع الترب حيث يدخل الحديد في تركيز بعض المعادن مثل سليكات المغنيسيوم الحديدية والتي تشمل معادن الاليفين والاوكايت (Augite) والهورنبليند والبايوتايت . كما يوجد الحديد في التربة بشكل اوكسيدات مثل $FeTiO_3$, Fe_3O_4 , Fe_2O_3 اما في الصخور الرسوبية فان الحديد موجود بصورتين هي اوكسيدات الحديد وكاربونات الحديد ($FeCO_3$) . ويدخل الحديد ايضاً في تركيب غالبية معادن الطين ونتيجة لعمليات التجويه للصخور يتحرر الحديد خصوصاً من معادن سليكات المغنيسيوم الحديدية السهلة التجويه . وبالرغم من ارتفاع نسبة الحديد في الصخور يلاحظ ان الحديد الذائب في محلول التربة يكون بتركيز منخفض جداً . والصور الذائبة من الحديد اللاعضوي هي ايونات الحديديك (Fe^{3+}) وهيدروكسيد الحديديك ($Fe(OH)_2^+$) وايونات الحديدوز (Fe_2^{2+}) وهيدروكسيد الحديدوز ($FeOH^{2+}$) . ففي الترب ذات التهوية الجيدة يكون تركيز الحديد منخفض جداً الا عندما تكون درجة حموضة الترب (pH) منخفضة . حيث يزداد تجهيز بعض الحديد الذائب من الحديد الكلي . وبصورة عامة فان درجة ذوبان الحديد تعتمد اساساً على ظروف التربة السائدة .

$$\underset{\text{حديد ذائب}}{Fe^{3+} + 3OH} \rightleftharpoons \underset{\text{راسب}}{Fe(OH)_3}$$

والتوازن في هذه المعادلة هو نحو الهيدروكسيد اكثر منه للحديد الذائب ويعتمد هذا التوازن على درجة حموضة التربة . فعندما ترتفع درجة حموضة التربة (pH) نحو القاعدية تقل فعالية ايونات الحديديك لذلك فان تركيز هذه الايونات ينخفض بمعدل ١٠٠٠ ضعف لكل درجة يرتفع فيها الـ pH وقد لاحظ Lindsay (١٩٧٢) ان اقل مستوى للحديد الذائب في محلول التربة عندما تكون درجة

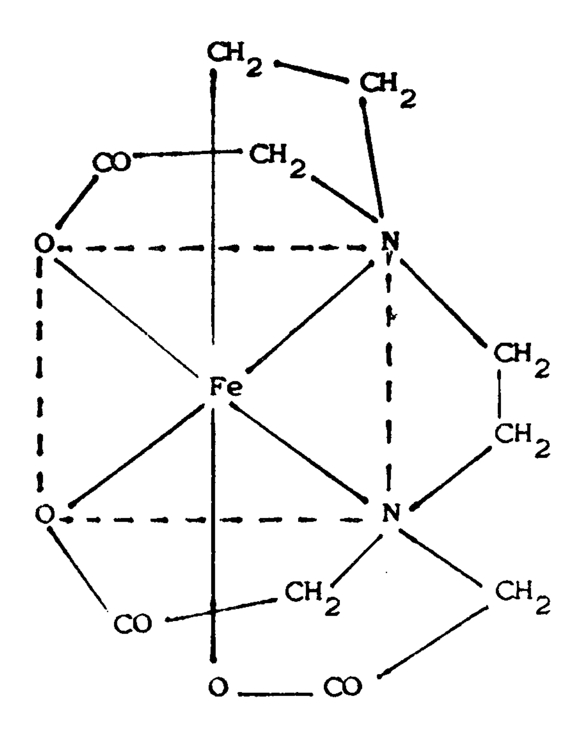
حموضة التربة حوالي ٦,٥ ـ ٨ . وبناء على ماتقدم فان الترب الحامضية تحتوي على تراكيز عالية من الحديد الذائب وتحت ظروف الترب الغدقة عندما تكون التهوية غير جيدة تختزل ايونات الحديديك (Fe^{3+}) الى ايونات الحديدوز (Fe^{2+}) كما ان ذوبان الحديد يزداد في مثل هذه الظروف . يتم هذا الاختزال بواسطة بعض البكتريا غير الهوائية . ان وجود تراكيز عالية من ايونات الحديد الثنائية الشحنة تسبب سمية للنباتات وغالباً ماتظهر اعراض هذه السمية على نباتات الرز وتعرف هذه الحالة بالتلون البرونزي (bronzing) .

في بعض الحالات قد يعتبر الحديد من العناصر المعدنية الكبرى لدخوله في تراكيب غير ذائبة داخل النبات . وللحديد فائدتين اساسيتين في العمليات الحيوية للنباتات . الاولى هي انه منشط لانزيمات الاكسدة والاختزال في سلسلة انتقال الالكترونات في عملية التنفس والثانية هي انه يساعد على بناء الكلوروفيل بالرغم من انه لايدخل في تركيبه . يلعب الحديد دوراً فعالاً في سلسلة الاكسدة والاختزال حيث يعمل على نقل الالكترونات وذلك من خلال قابليته على فقد أو اكتساب الكترون (اي انه يوجد بصورة مختزلة ومؤكسدة) كما في المعادلة التالية :

$$Fe^{2+} \text{ —— } Fe^{3+} + e^{-}$$

كما ينشط الحديد عدد كبير من انزيمات الاكسدة مثل الانزيمات المساعدة (Catalase) وانزيمات البيروكسيديز (Peroxidase) ويدخل الحديد في بعض التراكيب المهمة في النبات حيث يعتبر احد مكونات ليبيدات جدران النوية وفي الكلوروبلاست والمايتوكوندريا (مركز تفاعلات التنفس في الخلايا) كما انه يساعد على تكوين بروتينات جدر الخلايا . كما وجد ان النباتات تحتاج الحديد في عمليات انقسام الخلايا وفي التنفس . ويدخل الحديد ايضاً في تركيب بعض الصبغات ويمثل حوالي ٠,١ ٪ من الحديد الكلي في الاوراق اما القسم الاكبر من الحديد فانه يخزن في الكلوروبلاست وبصورة بروتينات الحديديك الفوسفاتية والتي تسمى فايتوفيرتن (Phytoferritin) . فقد وجد Barton (١٩٧٠) ان تجزأ الكلوروبلاست غنية بهذه البروتينات مما استنتج بان ٨٠ ٪ من حديد الاوراق مخزونة في هذه التركيبات .

ولما تقدم فان نقص الحديد يسبب اصفرار مميز في الاوراق الحديثة ويرجع ذلك الى فقد الكلوروفيل اضافة الى تحلل الكلوروبلاست وقد وجد ايضاً ان نقصه يسبب تشوه الكلوروبلاست حيث يقلل عدد الكرانا ويصغر حجمها . يمكن لجذور النباتات امتصاص الحديد اما بصورته الايونية سواء كانت ايونات ثلاثية الشحنة (Fe^{3+}) أو ثنائية (Fe^{2+}) أو ان يكون بصورته المخلوبة كما في الشكل التالي (شكل ١ ـ ٥)



شكل (١ ـ ٥) يوضح الصيغة البنائية للحديد على هيئة FeHEDTA

وهناك عدة مواد مخلبية يمكنها ان تخلب الحديد مثل الـ
FeHEDTA (Hydroxylethylene diaminetetra acetic acid) الذي يكون ثابت في المحيط القاعدي لذلك يضاف تحت ظروف الترب القلوية حيث ان اضافة كبريتات الحديدوز تحت هذه الظروف تكون غير فعالة ومترسبة عند درجة تفاعل اكثر من ٧ ، كما ان هناك مواد مخلبية اخرى مثل الـ
FeDTPN (Diethylene triamine Pentaacetic acid)
FeEDTA (Ethylene diamine tetraacetic acid) الذي يكونان ثابتين عند درجة تفاعل ٧ و ٦ على التوالي في حين الـ
Fe EDDHA (Ethylene diamine O hydroxy- phenyl aceti acid
يكون ثابت للنبات في مدى واسع من درجة حموضة التربة ويكون بين ٤ الى ١٠ . وهناك دلائل تشير الى ان الايونات ثلاثية الشحنة يجب ان تختزل الى ثنائية الشحنة قبل امتصاصها . اما ميكانيكية امتصاص الحديد فهي غير معروفة لحد الان ما اذا كانت بصورة نشطة أو بصورة حرة فهناك دلائل تؤكد ان امتصاصه

هو امتصاص نشط ومسيطر عليه حيوياً حيث وجد Tiffin (١٩٦٦) ان تركيز الحديد داخل نباتات عباد الشمس وفول الصويا يقدر بثلاثين ضعف تركيزه في المحلول المغذي (اي ان الامتصاص ضد تدرج التركيز). بعض الايونات مثل المنغنيز والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والزنك جميعها تنافس الحديد على الامتصاص كما ان امتصاص هذا العنصر ينخفض عند درجة حموضة التربة المرتفعة (المحيط قاعدي) وتحت ظروف التراكيز العالية من الكالسيوم أو المغنيسيوم في محلول التربة.

المنغنيز : Mn

يوجد المنغنيز في الطبيعة في الصخور المحتوية على الحديد والمنغنيز ويتحرر الاخير من هذه الصخور بعملية التجوية.

ومن المعادن الثانوية التي تحتوي على هذا العنصر هي البايروليسايت ($Pyrolusite\ MnO_2$) والماجنايت ((Magnite Mn(OH)) ومحتوى الترب من المنغنيز يختلف باختلاف التربة ولكنه بصورة عامة يوجد بتراكيز حوالي ٢٠٠ – ٣٠٠ جزء في المليون.

صور المنغنيز المهمة للنبات هي ايونات المنغنيز الثنائية الشحنة Mn^{2+} واوكسيدات المنغنيز وتوثر درجة حموضة التربة ومحتواها من المادة العضوية ووجود الاحياء المجهرية ونسبة الرطوبة فيها على جاهزية المنغنيز للنباتات. ففي الترب التي تكون فيها عمليات الاختزال هي السائدة يكون المنغنيز جاهز بدرجة قد تصل الى السمية (Tanaka و Yochida ، ١٩٧٠). وفي الترب الحامضية تكون جاهزية المنغنيز عالية ايضاً. اما في الترب القلوية أو الترب ذات الاكسدة العالية فيكون المنغنيز على هيئة مركبات غير ذائبة وغير جاهزة للنباتات وبالتالي ظهور اعراض نقصه عليها.

يلعب المنغنيز دوراً فعالاً في تنشيط الانزيمات في العمليات الحيوية في النبات حيث يمكن ان يستبدل المغنيسيوم بالمنغنيز في تنشيط انزيمات دورة كربس Krebs cycle مثل انزيمات الديكربوكسيليز (Decarboxylase) والديهدروجينيز (Dehydrogenase). كما انه يشكل جسر يربط الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) مع الانزيم في حالة نقل الطاقة. وتحتاج النباتات الى المنغنيز في عمليات تمثيل النتروجين وذلك في عملية اختزال النترات. وقد ذكر Morgan واخرون (١٩٦٦) ان لهذا العنصر دور في عمليات اكسدة هرمون الاندول حامض الخليك (Indole-3-Acetic Acid). ويدخل المنغنيز في تركيب الكلوروبلاست ونقصه

يسبب تشوهها . كما انه يلعب دور في التفاعلات التي تحدث في الكلوروبلاست مثل تفاعلات الضوء في عملية التمثيل الضوئي .

يختلف امتصاص المنغنيز باختلاف نوع النبات لكن هناك دلائل تشير الى ان امتصاص هذا العنصر هو امتصاص نشط (Moore ، ١٩٧٢) وكبقية الايونات ذات الشحنة الموجبة فانه يتنافس على الامتصاص مع الايونات الاخرى المشابهة لشحنته . فوجود المغنيسيوم مثلاً يخفض من معدل امتصاص المنغنيز . اما في حالة اضافة الكلس الى التربة (يضاف الكلس في اغلب الاحيان الى الترب ذات الحموضة العالية لتعديل الحموضة ورفعها نحو التعادل) ينتج عنه انخفاض في امتصاص المنغنيز بشكل مباشر وغير مباشر فالصورة المباشرة لتأثير الكلس هي ان ايونات الكالسيوم (Ca^{2+}) تتنافس مع ايونات المنغنيز على الامتصاص اما الصورة الغير مباشرة فان اضافة الكلس تسبب رفع درجة حموضة التربة (PH) وبالتالي يترسب المنغنيز ويصبح غير جاهز للنبات . كما أن صورة النتروجين في محلول التربة (المحلول المغذي) لها تأثير كبير على امتصاص هذا العنصر .

فقد وجد Sideris و Young (١٩٧٩) ان النباتات المغذاة بالنترات امتصت المنغنيز اكثر من تلك المغذاة بالامونيوم وربما يعود ذلك الى ان الامونيوم (NH_4^+) تتنافس مع المنغنيز على الامتصاص . وقد صنف Epstein (١٩٧٢) المنغنيز ضمن مجموعة العناصر المعدنية المتوسطة الحركة داخل انسجة النبات الا انه لاتوجد دلائل قاطعة حول ما اذا كان هذا العنصر متحرك داخل لحاء النبات ام لا . اما Bidwell (١٩٧٩) فيعتقد ان انتقال المنغنيز في النبات يعتمد على نوع النبات ومرحلة نموه لذلك فانه يقترح بان ظهور اعراض نقص المنغنيز تكون اما على الاوراق الحديثة او الاوراق القديمة . ان نقص هذا العنصر له صفات مشابهه لنقص عنصر المغنيسيوم ولكن الاصفرار على الاوراق في النباتات التي تعاني من نقص المغنيسيوم تظهر على الاوراق القديمة لكونه عنصر متحرك في النبات .

الزنك Zn :

يوجد الزنك في التربة بتراكيز منخفضة تتراوح بين ١٠ الى ٣٠٠ جزء في المليون ويمكن ان تحل درة الزنك محل ذرتي الحديد او المغنيسيوم في تركيب المعادن كما في حالة معادن الاوكايت (Augite) والهيدرونبليند والبايوتايت وذلك بسبب تشابه نصف قطر ايونات هذه العناصر . وهناك املاح تحتوي على الزنك ايضا مثل ZnS و (ZnFe)S واوكسيد الزنك (ZnO) وكاربونات الزنك

($ZnCo_3$) . جميع هذه الاملاح سريعة الذوبان في الماء ماعدى كبريتيد الزنك ZnS اضافة الى صور الزنك السابقة فان الزنك موجود بشكل مدمص على اسطح غرويات الطين والمواد العضوية . الصور التي يمتصها النبات لهذا العنصر هي الايونات ثنائية الشحنة (Zn^{2+}) او هيدروكسيد الزنك ($ZnOH^+$) او كلوريد الزنك ($ZnCl^+$) . درجة ذوبان وحركة هذا العنصر في التربة تقل عندما تكون درجة حموضة محلول التربة متعادلة او مائلة للقلوية وخصوصاً عندما تكون كاربونات الكالسيوم موجودة في التربة . تحتاج النباتات الزنك في تصنيع الحامض الاميني التريبتوفان (Tryptophane) والذي يعتبر مادة اساسية لتصنيع هرمون الاندول حامض الخليك (I AA) وهو هرمون نباتي مهم في نمو النباتات . لذلك فان نقص هذا العنصر يسبب تغيرات كبيرة في طبيعة نمو النباتات من خلال تأثيره على انتاج الهرمون اعلاه وينتج عنه نباتات متقزمة كما ويقلل تأثير ظاهرة السيادة القمية فيها . ومن دراسة اجراها Tsui (١٩٤٨) على نباتات الطماطة وجد ان النباتات المعرضة الى نقص الزنك كان معدل نمو الساق فيها منخفض ونشاط الاوكسين قليل ايضاً اضافة الى ان محتواها من التريبتوفان قليل . ولوجود الزنك في تركيب بعض الأنزيمات او كونه منشط لبعض الانزيمات مما يجعل دورة كبير في تحديد نمو النباتات اضافة الى تأثيره على تصنيع الـ I AA فقد وجد ان هناك علاقة موجبة بين تركيز هذا العنصر في اوراق النباتات وبين نشاط وفعالية انزيم الرايبونيوكليز (Ribonuclease) وهذا يعني ان هذا العنصر ينظم تصنيع البروتينات في النباتات من خلال تآثيره على الحامض النووي الرايبونيوكليك (Ribonucleic acid) كما وجد ايضاً ان لهذا العنصر تآثير موجب على تصنيع النشا في النباتات . بصورة عامة يوجد الزنك في اوراق النباتات بتراكيز منخفضة جداً حيث أن تركيزه يتراوح بين ٢٠ ــ ١٢٠ جزء في المليون من المادة الجافة . هناك تضارب كبير في الاراء حول امتصاص الزنك بواسطة جذور النباتات فيما اذا كان امتصاص نشط او امتصاص حر (سالب) لكن الدلائل تشير الى ان امتصاص هذا العنصر هو امتصاص نشط ومسيطر عليه حيوياً ويتأثر بدرجات الحرارة والمثبطات الحيوية (Moore ، ١٩٧٢) وربما يعود سبب التضارب في الآراء الى صعوبة التمييز بين الزنك الممتص فعلاً الى داخل خلايا الجذور والزنك المدمص على اسطح خلايا القشرة والبشرة حيث ان الاخير ربما يشكل نسبة حوالي ٩٠٪ من محتوى الجذور من هذا العنصر . ان انتقال عنصر الزنك داخل النبات محدود ولاينتقل من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة في حالة تعرض النبات الى ظروف نقصه كما انه هناك تداخل بين امتصاص الفسفور والزنك حيث ان زيادة تركيز الفسفور في المحلول المغذي تقلل من امتصاص عنصر الزنك وقد اعزى (Olsen ، ١٩٧٢) ذلك الى ثلاثة اسباب هي : ــ

١ ـ ان زيادة تركيز الفسفور تسبب تراكم الزنك في الجذور وعدم انتقاله الى الاجزاء الخضرية .

٢ ـ يسبب الفسفور قلة في امتصاص الزنك وبالتالي يحصل تخفيف في تركيز الاخير في الاجزاء الخضرية اضافة الى سرعة نمو النبات كاستجابه لزيادة الفسفور .

٣ ـ حصول حالة عدم توازن بين تراكيز الفسفور والزنك في الخلايا مما يسبب اختلال في العمليات الحيوية .

البورون B :

يوجد البورون في التربة بصورة حامض البوريك (H_3BO_3) حيث اما ان يكون البورون ذائب في محلول التربة او مدمص على اسطح غرويات الطين . ومن معادن التربة المحتوية على البورون هي Flourine Boro Silicate ولكن البورون في هذا النوع من المعادن لايتأثر كثيراً بعوامل التجويه وبالتالي ليس له تأثير على مستوى البورون الذائب . ويوجد البورون في الصخور الرسوبية اكثر مقارنة بمحتوى الصخور البركانية منه وتحتوي الترب عموماً على ٧ الى ٨٠ جزء في المليون من هذا العنصر (Krauskopf ، ١٩٧٢) . ان جاهزية البورون في التربة تقل عندما تكون درجة حموضة التربة قاعدية او عند اضافة الكلس . وبصورة عامة فان محتوى الترب من البورون في المناطق الشبه جافة اعلى من ترب المناطق الرطبة . وفي انسجة النبات تتحد البورات مع جذور الهيدروكسيل في السكريات او الكحول أو الاحماض العضوية لتكون استرات لحامض البوريك . كما في المركبات التالية .

ايون متعادل

ايون سالب

استرات حامض البوريك الثنائية الأصرة

ايون سالب

استرات حامض البوريك رباعي الأصرة

ومنذ سنوات عديدة اقترح الباحثون ان البورون يتحد مع المركبات الهيدروكسيلية الداخلة في تركيب جدر الخلية وله تأثير مباشر وكبير على نوعيتها . كما للبورون ثأثير على انتقال السكريات داخل النبات . ومن احدى الدراسات التي استخدم فيها السكريات ذات الكاربون المشع ($^{14}CO_2$) وجدت Turnowska-Stark (١٩٦٠) . ان اضافة هذه السكريات مع قليل من البورون الى الورقة امتصت الورقة هذه السكريات بصورة اسرع مما لو لم يضاف البورون مع السكريات لذلك يعتقد ان موت القمم النامية وتساقط الازهار في النباتات المعرضة لنقص البورون سببه قلة انتقال السكريات الى تلك المناطق ذات الفعاليات الحيوية العالية . وهناك دلائل اخرى تشير الى أن البورون يشجع انبات حبوب اللقاح ونمو الانبوبة اللقاحية (Vasil ، ١٩٦٤) . كما ان للبورون تأثير كبير على انقسام وتخصص الخلايا في النباتات . ففي دراسة قام بها Albert و Wilson (١٩٦١) على القمم النامية في جذور الطماطة المعرضة الى محلول مغذي يفتقر الى البورون وجد ان انقسام واستطالة الخلايا في هذه الجذور توقف بعد ستة ساعات فقط من المعاملة . اما بالنسبة الى دور البورون في تمثيل السكريات فقد ذكر Lee و Arnoff (١٩٦٩) أن البورون يتحد مع الكلوكونيت سداسي الفوسفات (6-Phosphogluconate) ومن خلال ذلك يعمل على تنظيم فعالية انزيم (6-Phosphogluconate dehydrogenase). بالنسبة لامتصاص هذا العنصر من قبل النبات فهناك دلائل تشير الى ان امتصاصه حر (سالب) . فقد ذكر Tanaka (١٩٦٩) ان قسم من البورون يمتص مع الماء بعد ان يتحد مع السكريات مكوناً مركب معقد . وفي دراسة قام بها Nissen, Bowen (١٩٧٦) لتحديد صور البورون الموجودة في الفراغات البينية في خلايا الجذور ووجد ان غالبية البورون يوجد بصورة ذائبة في الماء وجزء قليل منه مدمص على اسطح جدر الخلايا بهيئة مركبات معقدة من السكريات والبورات Borate polysaccharide complexes . يصنف البورون ضمن مجموعة العناصر الغير متحركة في النبات لذلك فان محتوى انسجة النبات منه يقل كلما اقتربنا من قمته .

وفي دراسة على نبات التبغ ذكر Michael وآخرون (١٩٦٩) ان انتقال البورون يتم مع حركة النسغ الصاعد وهذا يؤكد ان هذا العنصر يتحرك في الخشب فقط . الاعراض العامة لنقص البورون على النبات هي موت القمم النامية في الجذور والجزء الخضري اضافة الى ان شكل الاوراق يتشوه وتصبح متثخنة وذات لون داكن .

النحاس Zn :

النحاس موجود في الترب على هيئة ايونات موجبة ثنائية الشحنة (Cu^{2+}) ويدخل في تركيب الصفائح البلورية للمعادن الاولية والثانوية . وقسم من نحاس التربة هو نحاس عضوي والقسم الآخر مدمص على اسطح غرويات التربة بصورة ايونات موجبة ويمكن للقسم الاخير التبادل مع النحاس من محلول التربة او الايونات الموجبة المماثلة . اما القسم الثالث فهو ذائب في محلول التربة . وفي دراسة اجراها Mclaren و Crawford (١٩٧٣) وجد ان محتوى الترب البريطانية من النحاس هو ٥ الى ٥٠ جزء في المليون وان غالبية هذا النحاس داخل في تركيب بلورات المعادن الاولية . اما تركيز النحاس في محلول التربة فهو قليل جداً لايزيد على ١ × ١٠$^{-٨}$ الى ٦٠ × ١٠$^{-٦}$ جزيء غرامي (مولر) وقد وجد ان ٩٨٪ من محتوى محلول التربة من النحاس متحد مع مواد عضوية . ان لارتباط النحاس مع المادة العضوية الاثر الكبير في تنظيم انتقال حركة النحاس في التربة . فالنحاس المدمص على المادة العضوية يعتبر غير جاهز للنبات كما ان محتوى محلول التربة من النحاس الجاهز للنبات يقل كلما ارتفعت درجة حموضة التربة (PH) او عند اضافة الكلس للتربة . واضافة الاسمدة الفوسفاتية بكميات كبيرة للتربة تسبب ترسيب النحاس على هيئة مركبات غير ذائبة وبالتالي ظهور اعراض نقصه على النباتات . يدخل النحاس في تركيب بروتينات الكلوروبلاست وقد ذكر Neish (١٩٣٩) ان ٧٠٪ من نحاس الورقة هو في الكلوروبلاست . كما ويلعب النحاس دور فعال في العمليات الحيوية في النبات حيث يقوم بتنشيط عدد من الانزيمات بضمنها الانزيمات المؤكسدة للمواد الفينولية Polyphenol oxidase والانزيمات المؤكسدة لحامض الاسكوربيك (Ascorbic acid oxidase) .

وترجع اهمية وجود النحاس في الكلوروبلاست الى انه يقوم بعملية نقل الالكترونات في عملية التمثيل الضوئي . وللنحاس دور فعال في عمليات تمثيل البروتينات والكربوهيدرات وقد يكون له دور في عمليات اختزال النتريت (No_2^-) . يحتاج النبات للنحاس بكميات قليلة جداً حيث ان تركيزه في انسجة النباتات تتراوح بين ٢ الى ٢٠ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف .
وهناك دلائل تشير الى ان امتصاص هذا العنصر هو امتصاص نشط وان امتصاص الزنك يقلل من امتصاص النحاس والعكس صحيح (Bower ، ١٩٦٩) وللنحاس القابلية على استبدال معظم الايونات الموجبة في مواقع التبادل على اسطح الجذور وهذه الصفة ربما هي السبب في ارتفاع تركيز النحاس في الجذور . اما في النبات فان النحاس يعتبر من العناصر المتنقلة حيث ينتقل من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة . وتنقله داخل انسجة النبات يكون بصورة عضوية

متحد مع الاحماض الامينية مكوناً مركبات ايونية سالبة لذلك يعتقد Tiffin (١٩٧٢) ان هذه المركبات هي المواد الناقلة للنحاس داخل النبات .

الموليبدينم : Mo

محتوى التربة من الموليبدينم يتراوح بين ٠,٦ الى ٣,٥ جزء في المليون وان القسم الجاهز منه هو ٠,٢ جزء في المليون (Cheng و Ouellette ، ١٩٧٣) . ويوجد الموليبدينم في التربة غالباً على هيئة اوكسيدات (MoO_4^{2-}) وهذا مايميزه عن بقية العناصر الموجبة التي توجد غالباً بصورة هيدروكسيدات. الموليبدينم يدمص على اسطح غرويات التربة وقابلية الادمصاص تعتمد على درجة حموضة التربة (pH) . حيث يزداد ادمصاصه وتقل جاهزيته كلما اصبحت التربة حامضية في حين ان اضافة الكلس تسبب زيادة في جاهزيته وقلة ادمصاصه . وتعود زيادة جاهزية الموليبدينم في المحيط القاعدي الى احلال ايون الهيدروكسيل (OH^-) محل ايون الموليبدينم على اسطح الغرويات وبذلك يتحرر الاخير الى محلول التربة . يوجد الموليبدينم في التربة بصورة غير متبادلة ايضاً حيث انه يدخل في تركيب بعض المعادن ومن هذه المعادن MoS_2 وموليبيدات الكالسيوم واوكسيدات الموليبدينم المتميئة . قسم من الموليبدينم موجود في المواد العضوية وعند تحللها يمكن للنبات امتصاص الموليبدينم المتحرر من هذه المواد وقد ذكر Mitchell (١٩٥٤) انه حتى في الترب الحامضية يمكن للنبات الحصول على كميات كافية من الموليبدينم نتيجة لتحلل المواد العضوية . ومن اهم نشاطات هذا العنصر هو انه يلعب دور في اختزال النترات وتثبيت النتروجين . فقد لوحظ ان الاحياء المجهرية التي تعمل على تثبيت النتروجين تحتاج الى كميات من الموليبدينم اكثر من تلك التي لاتثبت النتروجين . لذلك يعتقد ان للموليبدينم دور فعال في العمليات اعلاه . فالموليبينم ضروري لنشاط انزيمي النتروجينيز (Nitrogenase) والتايتريت ريدكتيز (Nitrate reductase) وفعالية هذا العنصر في تنشيط هذين الانزيمين هي بتحوله من الصورة المختزلة الى الصورة المتاكسدة وبالعكس نتيجة لفقده واكتسابه الالكترونات كما في المعادلة التالية : —

$$Mo^{5+} \rightleftharpoons Mo^{6+} + e^-$$

وقد لاحظ Stout واخرون (١٩٥١) ان امتصاص الموليبدينم هو امتصاص نشط حيث ان امتصاصه يقل بوجود الايونات السالبة مثل الكبريتات (SO_4^{2-}) . وقد وجد ان اضافة الفسفور تشجع حركة الموليبدينم نحو قيمة النبات ويعتقد ان انتقال الموليبدينم في خشب النبات يكون على عدة صور منها (MoO_4^{2-}) والموليبدينم المتحد مع جذر الكبريتات في الاحماض الامينية أو

المولیبدینم المتحد مع السکریات . اما حرکة المولیبدینم في اللحاء فهي کما ذکرها Epstein (۱۹۷۲) متوسطة اي بدرجة اقل من حرکة النتروجین والفسفور والبوتاسیوم .

عناصر اخری لها اهمیة للنبات

العناصر السابقة ذکرت بشيء من التفصیل تعتبر عناصر ضروریة وان نقص اي منها یسبب تغیر في النمو والعملیات الفسیولوجیة في النبات أو ربما عدم قابلیته علی اکمال دورة حیاته وموته . اما عناصر هذه المجموعة فقد یکون لها تأثیرات ایجابیة فقط علی نمو النبات ومن هذه العناصر الصودیوم والسلیکون والکوبلت . کما ان عنصر الکلور قد ادخل ضمن هذه المجموعة بالرغم من انه قد اکتشف حدیثاً ان هذا العنصر ضروري لنمو النبات ولکن النبات یحتاجه بتراکیز منخفضة جداً لتنشیط العملیات الحیویة .

الصودیوم : Na

بصورة عامة یوجد الصودیوم في جمیع الترب متحداً مع المرکبات الاخری مکوناً املاح مثل کلوریدات وکبریتات ونترات وکربونات الصودیوم ویدخل في ترکیب البوراکس ایضاً . یعتبر الصودیوم عنصر ضروري لبعض النباتات خصوصاً تلك التي تعیش في المناطق المالحة وتسمی هذه النباتات بالـ (Halophytes) حیث یعتقد الباحثون ان بعض هذه النباتات تمتص الصودیوم وتراکمه في فجوات خلایا الجذور لکي تحافظ علی انتفاخ الخلایا وبالتالي استمراریة النمو . ان زیادة انتفاخ الخلایا تسبب زیادة في نمو هذه النباتات المتکیفة لظروف الترب الملحیة ومن المعروف منذ فترة طویلة ان نمو نباتات معینة یزداد باضافة الصودیوم ومن امثلتها نباتات العائلة الرمرامیة (Chenopodaceae) کالبنجر السکري والبنجر الاحمر . للصودیوم دور فعال في عملیة فتح وغلق الثغور وذلك باحلاله محل البوتاسیوم کما ان للصودیوم تأثیر علی قابلیة نباتات البنجر السکري للاحتفاظ بالماء وبذلك یزید من مقاومتها للجفاف ویعتقد ان للصودیوم تأثیر علی انتقال انزیمات تحریر الطاقة (ATP-ase) في خلایا الحیوانات والنباتات (Sutcliffe و Baker (۱۹۸۱) .

یمتص الصودیوم علی هیئة ایونات موجبة احادیة الشحنة (Na^+) وفي حالة زیادة ترکیزه في محلول التربة یحل محل البوتاسیوم علی اسطح غرویات التربة وبالتالي یسبب تدهور في نسجة التربة .

السليكون Si :

يدخل السليكون في تركيب معظم المعادن وتوفره للنبات يعتمد على سرعة التجوية بهذه المعادن . ويوجد السليكون في محلول التربة بصورة هيدروكسيدات السليكون ($Si(OH)_4$) عندما يكون الـ PH اقل من ٩ (محيط قاعدي) ويكون بصورة ايونات السليكون الذائبة عند درجة حموضة اعلى من ٩. للسليكون اهمية في زيادة انتاج بعض المحاصيل مثل الرز حيث وجد Okudo و Takahashi (١٩٦٥) ان نمو وانتاج الرز ازداد عند التغذية بالسليكون . ومن الملاحظ ان نباتات الحشائش والحبوب (احادية الفلقة) تحتوي على السليكون بتراكيز اعلا من تلك التي تحتويه النباتات ثنائية الفلقة .

وبالرغم من جود تضارب حول امتصاص هذا العنصر فقد ذكر Barber و Shone (١٩٦٦) ان امتصاص السليكون هو نشط ويتأثر بدرجات الحرارة ومثبطات النمو .

الكوبلت Co :

يوجد الكوبلت في الصخور النارية ويتراوح تركيزه في هذه الصخور بين واحد الى عدة مئات جزء في المليون في حين في الصخور الحامضية (Acidic rocks) ومثالها صخور الكرانيت (Granite) والتي تحتوي على الحديد بكميات كبيرة تكون فقيرة في الكوبلت . يتراوح محتوى محلول التربة من الكوبلت بين ٦ الى ٤٠ جزء في المليون وان الكوبلت المتحرر من الصخور بعملية التجوية يثبت باتحاده مع المركبات العضوية في التربة . يميل الكوبلت لاتحاده مع بعض المواد المخلبية وله القابلية على استبدال بعض ايونات المعادن الاخرى وبذلك ينافسها على الامتصاص . فمثلاً لاحظ Hewitt (١٩٥٣) ان زيادة تركيز ايونات الكوبلت تسبب ظهور اعراض نقص المنغنيز . اما فائدة الكوبلت في تغذية النبات فانها تعود بالدرجة الرئيسية الى حاجة الاحياء المجهرية المثبتة للنتروجين له . لذلك فانه ضروري لتكوين العقد الجذرية وللطحالب المثبتة للنتروجين . كما يدخل الكوبلت في تركيب فيتامين B_{12} .

الكلور Cl :

لاتدمص ايونات الكلور على اسطح غرويات التربة وبذلك فهي سريعة الغسل في الترب الخفيفة وتحت ظروف البزل الجيدة . وتحت بعض الظروف يحصل تراكم لايونات الكلور في التربة كما في حالة الترب التي تسقى بمياه

تحتوي على الكلوز بتراكيز عالية وتلك القريبة من مياه البحار او في الترب السيئة الصرف حيث يكون تراكيز الكلور فيها مرتفع . ويعتقد ان اغلب انواع النباتات تمتص ايونات الكلور بسرعة وان امتصاصه يعتمد اساساً على تركيزه في المحلول المغذي ولكن توجد دلائل قوية توكد ان امتصاصه يعتبر امتصاص نشط . ومن هذه الادلة مالاحظه Epstein, Elzam (١٩٦٥) ان امتصاص الكلور يتأثر بدرجات الحرارة ومثبطات النمو . كما وجد Gerson و Poole (١٩٧٢) ان ايونات الكلور تتجمع داخل انسجة النبات عكس تركيزها في المحلول المغذي .

اعراض نقص الكلور هي ذبول النبات وتوقف نمو الجذور كما ان الاوراق الحديثة تصفر وذلك بسبب قلة حركة هذا العنصر داخل النبات وان تراكمه يعتمد على عمر النسيج . ويعتقد Johnsonوآخرون (١٩٥٩) ان التركيز الذي تظهر فيه اعراض نقص الكلور على النبات يتراوح بين ٧٠ الى ١٠٠ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف . ومن اهم نشاطات الكلور في العمليات الحيوية في النبات هي تحرير الاوكسجين في تفاعلات الضوء في عملية التمثيل الضوئي . وبناء على ذلك فقد وجد Larkum (١٩٦٨) ان تركيز الكلور في الكلوروبلاست يصل الى ٣٠٠ جزء في المليون بالرغم من ان فائدته لم تعرف لحد الآن .

تعتبر الملوحة من المشاكل واسعة الانتشار . ان الاتربة المتكونة في المناطق الجافة وشبه الجافة تتصف باحتواء مقدها (Profile) على مستويات عالية من الاملاح . واعتماداً على الظروف الخاصة بالتربة فان واحداً او اكثر من ايونات الـ SO_4, Mg, HCO_3, Cl, Na والبوريت ربما توجد بتراكيز عالية في الوسط الجذري وبذلك فانها تؤثر على نمو الحاصل (Mengel و Kirkby ، ١٩٨٢) . وقد وجد في التجارب بان نمو الجذور واجزاء النبات العليا ومساحة الورقة يقل بوجود التأثير الملحي وان الجهد المائي للمحلول الغذائي يتناقص بمقدار ٤ بار عند اضافة كلوريد الصوديوم . ان وجود الاملاح في الوسط الغذائي يؤثر على نمو النبات بطريقتين هما :

اولاً : ان التركيز العالي لبعض الايونات المتخصصة يمكن ان يكون ساماً ويسبب الاضطراب الفسيولوجي ومثالها الصوديوم والبوريت .

ثانياً : ان الاملاح الذائبة تخفض الجهد المائي للوسط الغذائي وبهذا فانها تعيق امتصاص الماء من قبل جذور النبات . ان التأثير الثاني هو أقل اهمية وذلك لان التراكيز العالية للاملاح في الوسط الغذائي تؤدي الى زيادة معدل امتصاص الايونات وهذا بدوره يسبب انخفاض الجهد المائي في الجذور النباتية وعليه فان

ذلك يحفز امتصاص الماء الذي يقوم برفع الضغط الانتفاخي للخلية في الانسجة النباتية وهذا يعني بان هذا الامتصاص يحافظ على الموازنة المائية الموجبة وهذه الحالة تعرف بالتنظيم الازموزي .

ان الملوحة الناتجة من الكلور هي اقل ضرراً في اكثر الاحيان من الملوحة الناتجة من الكبريتات وعليه فان الكلور ليس له تأثير سمي مباشرة على النبات (حيث له تأثير في تنظيم الجهد الازموزي) ان مشاركة الصوديوم في التنظيم الازموزي لخلايا النبات تختلف وذلك لان الجهد الامتصاصي والانتشاري لهذا العنصر داخل النبات يعتمد بصورة كبيرة على نوعية كل نبات . ان النباتات التي تعاني من تأثير الملوحة تكون متقزمة وذات اوراق صغيرة ذات لون اخضر مزرق .

ان الميكانيكية التي يتكون بواسطتها الشد الملحي غير واضحة ، حيث يعتقد بان الشد الملحي ربما يقلل من تكون البروتين عن طريق نشاط الهرمونات النباتية حيث اما ان يكون ناتجا من عدم تكوين الـ Cytokinins او نتيجة تجمع الـ Abscisic acid . من ناحية اخرى فقد اوضح بعض الباحثين بان توقف النمو لايعود الى قلة تكون الـ Cytokinins بل ان توقف النمو بحد ذاته يوقف أو يؤدي الى قلة تكون الـ Cytokinins .

مقاومة الملوحة Salt tolerance:

ان بعض الانواع النباتية تكون مقاومة للملوحة العالية وهذه النباتات تسمى (Halophytes) حيث ان هذه النباتات تاقلمت للتراكيز العالية للاملاح وهناك عدة طرق للتخلص من الاملاح من قبل هذه النباتات .

١ ـ استثناء الـ Cl^- , Na^+ من الامتصاص .
٢ ـ انواع اخرى من النباتات تمتص الاملاح ولكن هذه الاملاح تفرز عن طريق غدد ملحية (Salt glands) الموجودة في اوراقها .
٣ ـ تقوم بعض الانواع النباتية بامتصاص الاملاح ولكنها تمنع وصول هذه الاملاح الى الجهة المنشطة للعمليات الحيوية . ان النباتات تختلف في مقاومتها للملوحة وقد قسم (Van den Berg 1950) النباتات حسب مقاومتها الى الملوحة كما يلي : (جدول ١ ـ ٣)

جدول ١ ـ ٣ تقسيم النباتات البستنية حسب مقاومتها للملوحة (ماخوذة عن Van Den Berg ، ١٩٥٠)

نباتات عالية المقاومة للملوحة	نباتات متوسطة المقاومة للملوحة	نباتات ضعيفة المقاومة للملوحة
	اشجار الفاكهة	
النخيل	الرمان التين العنب	الكمثرى ، التفاح ، البرتقال ، الجريب فروت ، الاجاص، الكوجة ، اللوز ، المشمش الخوخ ، الشليك والليمون الحامض
	محاصيل الخضروات	
درجة التوصيل الكهربائي = ١٢ ـ ١٠ مليموز / سم	١٠ ـ ٤ مليموز / سم	٤ ـ ٣ مليموز / سم
البنجر الهليون السبانغ والكال	الطماطة ، البروكولي ، اللهانة ، الفلفل ، القرنابيط ، الخس الذرة الصفراء ، البطاطا ، الجزر ، البصل ، القرع بانواعه ، الخيار	الفاصوليا الخضراء الكرفس والفجل

ان الحل المعول عليه للتخلص من مشكلة الملوحة هي ايجاد اصناف نباتية مقاومة وهذا يعتمد على تربية اصناف مقاومة لملوحة مياه المحيطات وذلك قد يحل مشكلة المجاعة التي تعاني منها دول عديدة في العالم (Resh و Epstein ، ١٩٦٧).

الفناديوم V

يوجد الفناديوم في انسجة الكائنات الحية وهناك دلائل تشير الى ان للفناديوم تأثيرات على نمو الاحياء المجهرية والنباتات والحيوانات (Pratt ، ١٩٦٦) للفناديوم القابلية على استبدال المولبيدنم في تثبيت النتروجين بواسطة الاحياء

الجهرية . ولايوجد مايشير الى ان هذا العنصر ضروري للنباتات فقد اجرى Welch و Haffman (١٩٧٣) دراسة نميت فيها نباتات الخس والطماطة في محلول مغذي يحتوي على تراكيز اثرية من هذا العنصر ولوحظ ان النباتات لم تتأثر من جراء نقص هذا العنصر .

توجد عناصر اخرى ذات فائدة محدودة جداً للنباتات او قد تكون سامة مثل اليود (I) البروم (Br) والفلور (F) والالمنيوم (Al) والنيكل (Ni) والكروم (Cr) والسلينيوم (Se) والرصاص (Pb) والكادميوم (Cd) وغيرها لذلك اقتصر ذكرها فقط .

Referances

1- Albert, L.S. and Wilson, C.M. Effect of boron on elongation to tomato root tips. Plant Physiology 36: 244-251 (1961).

2- Ansari, A.Q. and Bowling, D.J.F. Measure-ment of the transroot electrical potential of plant grown in soil. The New Phytologists 71: 111-117 (1972).

3- Armstrong, M.J. and Kirkby, E.A. Estimation of potassium recirculation in tomato plants by comparison of the rates of potassium and calcuim accumulation in the tops with their fluxes in the xylem stream. Plant Physiology 63: 1143-1148 (1979).

4- Arnon, D.I. Phosphorus and the biochemistry of Photosynthesis. Agrochemica 3: 108-139 (1959).

5- Arnon, D.I. and Stout, P.R. The Essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. Plant Physiology 14: 371-375 (1939).

6- Barber, D.A. and Shone, M.G.T., The absorption of silica from aqueous solutions by plants. Journal of Experimental Botany 17: 569-578 (1966).

7- Barker, A.V., Volk, R.J. and Jackson, W.A. Root environment acidity as a regulatory factor in ammonium assimilation by the been plant. Plant Physiology 41: 1193-1199 (1966).

8- Barton, R. The production and behaviour of Phytoferritin particles during senesce ence of Phaseolus leaves. Planta 94; 73-77 (1970).

9- Beevers, L. and Hageman, R.H. Nitrate reduction in higher plants. Annual Review of plant Physiology 20: 495-522 (1969).

10- Bidwell, R.G.S. Plant Physiology. Second edition, Macmillan Publishing Co. INC. New Yourk (1979).

11- Bhat, K.K.S. and Nye, P.H. Diffusion of phosphate to plant roots in soil. III. Depletion around onion roots without root hairs. Plant and soil 41:383-394 (1974).

12- Bole, J.B. Influence of root hairs in supplying soil phosphorus to wheat. Candian Journal of Soil Science 53: 175-196 (1973).

13- Bowen, J.E. Absorption of copper, zinc and manganese by sugar cane tissue. Plant Physiology 44: 255-261 (1969).

14- Bowen, J.E. and Nissen, P. Boron up take byeexcised barley roots. I. Uptake into the free space. Plant Physiology 57: 353-357 (1976).

15- Brag, H. The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in **Triticum aestivum** and **Pisum sativum.** Physiologia Plantarum 26: 250-257 (1972).

16- Brewbaker, J.L. and Kwack, B.H. The essantial role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. American Journal of Botany 50: 859-865 (1963).

17- Broyer, T.C., Carlton, A.B., Johanson, C.M. and Stout, P.R. Chlorine: Amicro nutrient element for higher plants. Plant Physiology 29: 526-532 (1954).

18- Cheng, B.T. and Oullette, G.J. Molybdenum as a plant nutrient. Soil and Fertilizers 36: 207-215 (1973).

19- Dijkshoorn, W., Lampe, J.E.M. and Van Burg, P.F.J. Amethod of diagnosing the sulphur nutrition statas of herbage. Plant and Soil 13: 227-241 (1960).

20- Dunlop, J. The transport of potassium to the xylem exudate of rye grass. 1. Membrane potentials and Vacuolar potassium activities in seminal roots. Journal of Experimental Botany 24: 995-1002 (1973).

21- Dunlop, J. and Bowling, D.J.F. The movement of ions to the xylem exudate of maize roots. II. Acomparison of the electrical potential and electrochemical potentials of ions in the exudate and in the root cells. Journal of Ex-perimental Botany 22: 445-452 (1971).

22- Elzam, O.E. and Epstein, E. Absorption of chloride by barley root: kinetics and selectivity. Plant Physiology 40: 620-624 (1965).

23- Epstien, E. Mineral nutrition of plant: Principles and perspective. John Wiley and Sons, Inc., New York (1972).

24- Evans, H.J. and Sorger, G.J. Role of miner-al elements with emphasis on the univalent cations. Annual Review of Plant Physiology 17: 47-77 (1966).

25- Evans, H.J. and Wildes, R. Potassium and its role in enzyme activation. P. 13-39. In: Potassium in biochemistry and physiology. Proceeding of the 8th Colloquium International Potash Institute, Berne (1971).

26- Freney, J.R. and Stevenson, F.J. Oranic sulphur transformations in soils. Soil Science 101: 307-316 (1966).

27- Gerson, D.F. and Poole, R.J. Chloride accumulation by mung been root tips. A low affinity active transport system at the plasmalemma. Plant Physiology 50: 603-607 (1972).

28- Hentschel, G. The uptake of 15 N-labelled urea by bush beans. P. 30-34. In: Kirkby, E.A. Nitrogen nutrition of the plant. University of leeds (1970).

29- Hewitt, E.J. Metal interrelationship in plant nutrition. Journal of Experimental Botany 4: 59-64 (1953).

30- Hiatt, A.J. and Evans, H.J. Infiuence of certain cations on activity of acetic thiokinase from spinach leaves. Plant Physiology 35: 637-677 (1960).

31- Humble, G.D. and Raschke, K. Stomatal opening quantitatively related to potassium transport. Plant Physiology 48: 447-453 (1971).

32- Jackson, PC. and Hagen, C.E. Products of orthophosphate absorption by barly roots Plant Phsiology 35: 326-332 (1960).

33- Johnson, C.M., Stout, P.R., Broyer, T.C. and Carlton, A.B. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and Soil 8: 337-353 (1957).

34- Kirkby, E.A. and Huqhes, A.D. Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism. P. 69-77. In: Kirkby, E.A., Nitrogen nutrition of the plant, Univ. of Leeds (1970).

35- Kirkby, E.A. and Mengle, K. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea or ammonium nutrition. Plant Physiology 42: 6-14 (1967).

36- Kirkby, E.a. Mengel, K. Preliminary observations on the effect of urea nutrition on the growth and nitrogen metabolism of sunflower plants. P. 35-38. In: Kirkby, E.A. Nitrogen nutrition of the plant. University of Leeds (1970).

37- Krauskopf, K.B. Geochemistry of micronut-rients. P. 7-40. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America Ina. Madison, USA (1972).

38- Larkum, A.W.D. Ionic relations of chloro-plasts in vivo. Nature 218: 447-449 (1968).

39- Lee, S.G. and Arnoff, S. Boron in plants: Abiochemical role. Science 158; 798-799 (1967).

40- Legget, J.E. and Epstein, E. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. Plant Phsiology 31: 222-226 (1956).

41- Lindsay, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. P. 41-57. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America Inc., Madison, USA (1972).

42- Maas, E.V. Calcium up take by excised maize roots and interactions with alkali cations. Plant Physiology 44: 985-989 (1969).

43- Maas, E.V., and Ogata, G., Absorption of magnesium and chloride by excised corn root. Plant Physiology 47: 357-360 (1971).

44- Mclaren, R.G. and Crawford, D.V. Studies on soil copper. 1. The fractionation of Cu in soils. Journal of Soil Science 24: 172-181 (1973).

45- Mengel, K. and Kirkby, E.A. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Berne, Switzerland (1982).

46- Mengel, K., Viro, M. and Hehi, G. Effect of Potassium on up take and incorproa-tion of ammonumr nitrogen of rice plants. Plant and Soil 44: 547-558 (1976).

47- Michael, G., Wilberg, E. and Kouhsiahi-Tork, K. Boron deficiency induced by high air humidity. Z. Pflanzener-nahr, Bodenk 122: 1-3 (1969).

48- Minotti, P.L., Williams, D. Graig and Jackson, W.A. Nitrate uptake by wheat as influenced by ammonium and other cations. Crop Science 9:9-14 (1969).

49- Mitchell, R.L. Trace elements in scottish peats. International Peat Symposium, Section B_3, Dublin (1954).

50- Moore, D.P. Mechanism of micronutrient up take by plants. P. 171-198. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America Inc., Madison, USA (1972).

51- Morgan, P.W., Joham, H.E. and Amin, J.V., Effect of manganese toxicity on the indole-acetic acid oxidase system in cotton. Plant Physiology 41: 718-724 (1966).

52- Mulder, D. Mg-deficiency in fruit tree on sandy and clay soil in Holland. Plant and Soil 2: 145-157 (1950).

53- Veish, A.C. Studies on chloroplasts. Bichemical Journal 33: 300-308 (1939).

54- Nemeth, K., Mengel, K. and Grimme, H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg. Soil Science 109: 179-185 (1970).

55- Okuda, A. and Takahashi, E. The role of silicon. P. 123-146. In: The mineral nutrition of the rice plant. Proceed-ing Syposium of International Rice Research Institute, Jhon Hopkins Press, Baltimore, USA (1965).

56- Olsen, S.R. Micronutrient interactions.P. 243-264. In: Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America Inc., Madison, USA (1972).

57- Pill, W.G., Lambeth, V.N. and Hinckley, T.M. Effects of nitrogen form and level on ion concentrations, water stress and blossom-end rot incidence in tomato. American Society for Horticultural Science Journal 103: 265-268 (1978).

58- Pratt, R.F. Vanadium. P. 480-483. In: Chapman, H.D. Diagnostic criteria of plant and soil. University of California, Riversid (1966).

59- Puritch, G.S. and Barker, A.V. Structure and function of tomato leaf chloroplasts during ammonium toxicity. Plant Physiology 42: 1229-1238 (1967).

60- Rao, K.P. and Rains, D.W. Nitrate absorption by barley. Plant Physiology 57: 55-58 (1976).

61- Russell, R.S. and Clarkson, D.T. Ion transport in root systems. In: Sunderland, N. Perspectives in expermental biology. P. 401-411, Botany Vol. 2, Pergamon Press, Oxford (1976).

62- Sanders, F.E. and Tinker, P.B. Phosphate flow into mycorrhizal roots. Pesticide Science 4: 385-395 (1973).

63- Sideris, C.P. and Young, H.J. Growth and chemical composition of **Ananas comsus** in solution cultures with different iron-manganese ratios. Plant Physiology 24: 416-440 (1949).

64- Steucek, C.G. and Koontz, H.V. Phloem mobility of magnesium. Plant Physiology 46: 50-52 (1970).

65- Stocking, C.R. and Ongun, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. American Journal of Botany 49: 284-289 (1962).

66- Stout, P.R. Meagher, W.R., Pearson, G.A. and Johnson, C.M. Molybderum nutrition of crop plant. 1. the influence of

phosphate and sulfate on the absorption of molybdenum from soils and solution culture. Plant and Soil 3: 51-87 (1951).

67- Street, H.E. and Sheat, D.E.G. the absorption and availability of nitrate and ammonia. P. 150-165. In: Ruhland, W. Encyclopedia of plant physiology. Volum 8. Springer-Verlag, Berlin (1958)

68- Sutcliffe, J.F. and Baker, A.D. Plant and mineral salts. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 10. Second Edition, London, Edwrd Arnold (1981).

69- Tanaka, H. Boron adsorption by plant roots. Plant and Soil 27: 300-302 (1967).

70- Tanaka, A. and Yoshida, S. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. International Rice Research Institute, Technical Bulletin 10 (1970).

71- Temple-Smith, M.G. and Menary, R.C. Phosphate uptake by sterile and nonsterile excised roots of cabbage and lettuce. P. 139-144. In: Bieleski, R.L., et al., Mechanisms of regulation of plant growth. Bulletin 12, The Royal Society of New Zealand, Wellington (1974).

72- Tiffin, L.O. Iron translocation. 1. Plant culture exudate sampling, iron/citrate analysis. Plant Physiology 41: 510-514 (1966).

73- Tiffin, L.O. Translocation of micronutrients in plants. P. 199-229. In: Micronutrints in Agriculture. Soil Science Society of America Inc., Madison. USA (1972).

74- Tsui, X. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. American Journal of Botany 35: 172-179 (1948).

75- Turnowska-Stark, Z. The influence of boron on the translocation of sucrose in bean seedlings. Acta Society of Botany of Polland 29: 533-552 (1960).

76- Van Steveninck, R.F.M. The significance of caleium on the apparent permeability of cell membranse and the effects of substitution with other divalent ions. Physiologia Plantarum 18: 54-69 (1965).

77- Vasil, I.K. Effect of boron on pollen germination and pollen tube growth. In: Linskens, H.F. Pollen physiology and fertilization. North Holland, Amsterdam (1964).

78- Vesk, M., Possingham, J.V. and Mercer, F.V. The effect of mineral

nutrient deficiencies on the structure of leaf cells of tomato, spinach and maize. Australian Journal of Botany 14: 1-18 (1966).

79- Welch, R.M. and Huffman, W.D. Vanadium and plant nutrition. Plant Physiology 52: 183-185 (1973).

80- Zsolodos, F. Ion uptake by cole-injured rice roots. Plant and Soil 37: 469-478 (1972).

الفصل الثاني

طرق امتصاص العناصر المعدنية والنظريات المتعلقة بها

المقدمة :

لكي تنمو النباتات الراقية تحتاج الى الضوء وثاني اوكسيد الكاربون والماء والعناصر المعدنية . ومن الامور الاساسية والمهمة في نمو النبات هي الكيفية التي تدخل فيها الايونات الى داخل خلايا الجذور ثم انتقالها عبر انسجة الجذر الى الساق والاوراق والاجزاء النباتية الاخرى .

من المعروف ان الاوراق الخضراء تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيمياوية (NADPH و ATP) وذلك في سلسلة طويلة من تفاعلات الضوء في عملية التمثيل الضوئي وتنتقل هذه الطاقة الى الجذور لذلك فان من اهم الوظائف للجذور هي الطريقة التي تستثمر فيها هذه الطاقة لامتصاص العناصر المعدنية . بالرغم من ان للجذور وظائف مهمة اخرى غير امتصاص العناصر المعدنية مثل تثبيت النبات وتصنع المواد المنظمة النمو الا ان امتصاص الماء والعناصر المعدنية تعتبر وظيفة الجذور الاساسية . وخلال الخمسين سنة الاخيرة هناك محاولات عديدة لدراسة ميكانيكية امتصاص العناصر المعدنية بواسطة خلايا الجذور ولكن هناك كثير من الامور التي تسبب صعوبة في معرفة الميكانيكية الحقيقية لامتصاص العناصر وهذه تحتاج الى دراسات وبحوث تشريحية اكثر تفصيلا بالرغم من ان المجهر الالكتروني قد وفر الكثير حيث بواسطته تمت دراسة تركيب جدار الخلايا بدقة اكثر وامكن اكتشاف الممرات السايتوبلازمية والتي تربط الخلايا فيما بينها والتي اطلق عليها الـ Plasmodesmata كما وامكن دراسة تركيب غشاء الفجوة في الخلية Tonoplast

واهميته في تنظيم سايتوبلازم الخلية وانتخابية الايونات (Selectivity) ولكنه يبقى السؤال ما اذا كان امتصاص وانتقال ايونات العناصر المعدنية بواسطة خلايا الجذور هو امتصاص مسيطر عليه من قبل النبات ككل وذلك عن طريق التغذية الرجعية (Feed-back Mechanism) او ان الامتصاص لهذه الايونات تحكمه قوانين النفاذية والسيطرة الحيوية لخلايا الجذور فقط. وقبل الدخول في تفاصيل النظريات المتعلقة بامتصاص العناصر المعدنية انه من الضروري جدا معرفة مكونات الخلية وتركيب جدارها لان جدار الخلية يمثل العائق الاول للدخول الحر للعناصر المعدنية الى خلية الجذر.

تركيب خلية النبات:

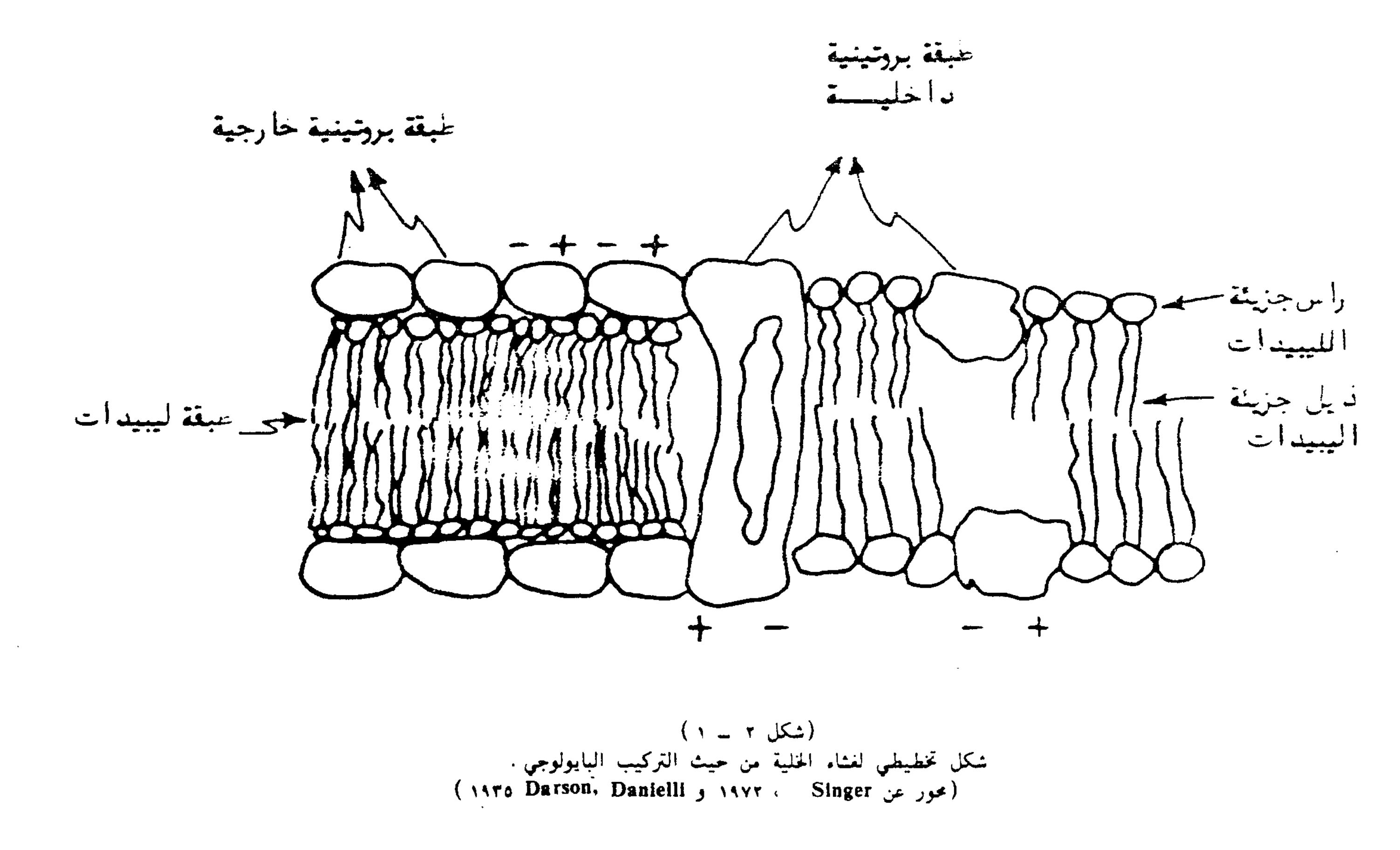
جدار الخلية يتكون من مواد بكتينية وسليلوزية حيث ان المركبات السليلوزية تتحد فيما بينها مكونة سلاسل تسمى اللييفات او المايكروفايبرلس (Microfibrils) وان المسافات البينية لهذه السلاسل هي التي تسمح بدخول الماء والهواء والعناصر المعدنية الى داخل جدار الخلية. اما الغشاء السايتوبلازمي فهو ذلك الغشاء الذي يفصل جدار الخلية عن السايتوبلازم ويسمى Plasmalemma في حين الغلاف الذي يفصل الفجوة عن السايتوبلازم يسمى Tonoplast (غشاء الفجوة). اما اجزاء الخلية السابحة في السايتوبلازم فهي النوية والبلاستيدات الخضراء والمايتوكوندريا. وكما هو معروف فأن دور البلاستيدات هو بناء المركبات الكربوهيدراتية باستخدام الطاقة الضوئية وثاني اوكسيد الكربون. اما في المايتوكوندريا يوجد عدد من الانزيمات تسيطر على تفاعلات مختلفة في دورة كربس (Krebs cycle) وتفاعلات التنفس وتمثيل الاحماض الدهنية. الرايبوسومات هي مركبات مكونة من الحامض النووي الرايبوسومي (Ribosomal nucleic acid) متحد مع البروتينات وهي تساعد على تصنيع الببتيدات المتعددة (Pdypeptides) من الاحماض الامينية الذائبة. معظم الرايبوسومات تكون ملتصقة بما يسمى الشبكة الاندوبلازمية (Reticulum Endoplasmic) وهذه الشبكة عبارة عن اغشية متعرجة يتكون نتيجة لذلك قنوات غشائية ينفذ بين طياتها ومن خلالها السايتوبلازم وغالباً ما ينتقل من خلية لاخرى ولكن في الحقيقة لم يعرفْ بالضبط دور هذه الاغشية. ويوجد بين الخلايا جسور سايتوبلازمية تسمح بالارتباط المباشر بين سايتوبلازم الخلايا. فجوة الخلية بصورة عامة تكون مملوءة بمحلول متعادل يحتوي على الايونات اللاعضوية (المعادن) اضافة الى وجود بعض الاحماض العضوية واملاحها والاحماض الامينية والسكريات.

وقد تحتوي الفجوة على الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون الذائبين وبعض الصبغات. ومن اهم وظائف الفجوات في الخلية انها تعتبر المخزن الرئيسي للماء.

تركيب اغشية الخلية .

لكي نفهم ميكانيكية امتصاص العناصر من الضروري التعرف على طبيعة الاغشية وتركيبها التشريحي وفعاليتها الفسيولوجية . بصورة عامة يتكون غشاء الخلية من جزيئات بروتينية وليبيدية بنسبة ١ : ١ وتكون هذه الجزيئات متداخلة فيما بينها كما في الشكل التالي (٢ ــ ١) .

لقد اقترح بأن جزيئات البروتين توفر للجدار الصلابة الميكانيكية في حين ان جزيئات الليبيدات المترتبة بشكل منتظم بحيث تتداخل ذيولها فيما بينها وهذه الجزيئات تعتبر غير محبة للماء (Hydrophobic) وهذا التركيب لغشاء الخلية يمنع النفاذية الحرة للايونات الى داخل وخارج الخلية . ويعتقد Singer (١٩٧٢) ان التركيب البايولوجي لغشاء الخلية يحتوي على المركبات المحبة للماء مثل مجاميع الهيدروكسيل (OH) والنتريت (NO_2) والفوسفات (PO_4) والكاربوكسيل (R-COO) والمركبات الغير محبة للماء مثل سلاسل المركبات الهيدروكاربونية وبناء على ذلك فان جزيئات البروتين والليبيدات محاطة باواصر كهربائية هي اواصر الهيدروجين واواصر المركبات الغير محبة للماء . يقترح Singer (١٩٧٢) بأن جزيئات البروتينات منغمسة داخل طبقتين من الليبيدات وبعض جزيئات البروتينات ربما تمتد داخل غشاء الخلية مكونة مايسمى بالقنوات البروتينية (Protein Channels) تربط جهتي الغشاء . ويعتقد Walker (١٩٧٦) ان وجود مثل هذه القنوات يساعد على مرور الذرات للمواد الذائبة في الماء كايونات المعادن . كما ويعتقد ان لجزيئات البروتينات الملتصقة على السطح الخارجي لغشاء الخلية اهمية كبيرة من الناحية الفسيولوجية لكن دورها لم يعرف بالضبط لحد الان . اما جزيئات البروتينات المنغمسة في جزيئات الليبيدات فهي غالبا ما تكون انزيمات بروتينية وان تركيب هذه الانزيمات البروتينية مهم خصوصاً في عمليات التنفس والتركيب الضوئي . كما ان نفاذية اغشية الخلايا الميكانيكية للمركبات الذائبة تعتمد على الاحماض الدهنية الموجودة في تركيب غشاء الخلية ووجود المركبات الهيدروكاربونية المشبعة ذات السلاسل الطويلة في تركيب غشاء الخلية يقلل من نفاذية الغشاء للايونات الذائبة في حين المركبات الهيدروكاربونية غير المشبعة تساعد على تفكيك غشاء الخلية وبالتالي نفاذيته للايونات تكون عالية .



(شكل ٢ ـ ١)
شكل تخطيطي لغشاء الخلية من حيث التركيب البايولوجي.
(محور عن Singer ، ١٩٧٢ و Darson, Danielli ١٩٣٥)

ميكانيكية امتصاص العناصر المعدنية :

بصورة عامة يمكن للايونات ان تنفذ من خلال الاغشية اذا كانت الاغشية نفاذة لها ولكن عندما يكون الغشاء او السايتوبلازم في الخلية غير نفاذ او نفاذ جزئياً فهناك عدة طرق لامتصاص الايونات من خلال هذه الاغشية . وبناء على ذلك فان الايونات اما ان تدخل بالانسياب الكتلي (Mass-flow) او بالانتشار (Diffusion) من خلال هذا الغشاء . وكما هو معلوم فان هذا الانتشار يكون مسيطر عليه بواسطة قوانين الانتشار . عندما يكون الغشاء هو غشاء خلية او البروتوبلازم يكون انتقال الايونات من خلاله اما بصورة حرة (Passive) او انتقال نشط (Active) . ففي حالة الامتصاص النشط فأن النبات يحتاج الى صرف طاقة حيوية لكي يمتص الايونات عكس تركيزها او شحنتها وهذا ما يميزه عن الامتصاص الحر او السالب الذي يحصل بسبب فرق التركيز والشحنة للايونات على جانبي غشاء الخلية لحين حصول حالة التوازن .

الطاقة الكامنة في الغشاء Membrane Potential

لو نأخذ اي محلول فيه املاح ذائبة فان حركة الايونات لهذه الاملاح تتأثر بقوتين رئيسيتين هما الطاقة الكامنة الكيمياوية الناتجة من فرق التركيز والطاقة الكامنة الكهربائية الناتجة من اختلاف نوع وعدد الشحنات التي تحملها هذه الايونات . فمثلا عندما يضاف ملح الى ماء نقي ينتشر من المنطقة المرتفعة التركيز الى المنطقة المنخفضة التركيز لحين تساوي التركيز في كل اجزاء المحلول . ان حركة الايونات المختلفة تختلف حسب نوع الايون فبعضها يتحرك بسرعة اكبر من الايونات الاخرى وهذا مايسبب اختلاف في عدد ونوع الشحنات بين المنطقتين من المحلول (اي منطقة التركيز العالي ومنطقة التركيز الواطيء) وينتج عن ذلك مايسمى بالطاقة الكامنة للانتشار (Diffusion Potential) وسبب نشوء طاقة الانتشار الكامنة فان الايونات البطيئة الحركة ستسرع في حركتها والايونات السريعة الحركة ستبطيء من حركتها لحين حصول حالة من التوازن في معدل حركة هذه الايونات . واعتماداً على قانون فيك (Fichs law) فان معدل الانتشار (dv/dt) يعتمد اساساً على فرق التركيز dc /dx حسب المعادلة التالية :

$$dv / dt = - Da \frac{dc}{dx}$$

حيث أن D هو معامل الانتشار و a هي المساحة من الغشاء التي يحصل فيها الانتشار والعلامة السالبة تشير الى ان الانتشار للايونات يكون من المنطقة الاعلى تركيزاً الى الاوطأ تركيزاً . الغشاء الخلوي هو العائق الحقيقي لانتشار الايونات الى داخل وخارج الخلية لذلك فان انتشار الايونات من خلال هذا الغشاء ينتج عنه نشوء مايسمى بالطاقة الكامنة للانتشار خلال الغشاء (Membrane Diffusion Potential) . فالعلاقة بين فرق الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية على جهتي الغشاء وتوزيع اي ايون يمر من خلاله عندما توجد حالة توازن يمكن تمثيلها بما يلي :
لنفرض ان محلولين بتركيزين مختلفين يفصلها غشاء وهم في حالة نفاذية للايونات وحصلت حالة التوازن (Passive Flux Equilibsium) اي ان الايونات الداخلة تساوي الايونات الخارجة .

المحيط عبر الغشاء الداخلي الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية $U^* + RT \ln Ci + ZF$	(الغشاء)	المحيط الخارجي الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية $U^* + RT \ln Co + ZF$

بما ان $Uo = Ui$

$$RT \ln Co + ZF = RT \ln Ci + ZF$$

U^* =الطاقة الكامنة الكيمياوية (ثابت)

$\bar{U}o - \bar{U}i = \bar{U}$ وتمثل فرق الطاقة الكهروكيمياوية ويرمز لها E

R = الثابت الغازي (جول/ درجة / وزن جزيئي)

T = درجة الحرارة المطلقة (الحرارة بالمئوي + ٢٧٣)

Z = عدد ونوع الشحنات التي يحملها الايون فمثلا للكالسيوم +٢ وللبوتاسيوم +١ وللكلور -١ وللكبريت -٢

F = ثابت فرداي (كولومبس/ وزن مكافيء)

Co = التركيز الخارجي للايون (ملي مول/ لتر)

Ci = التركيز الداخلي للايون (ملي مول/ لتر)

In = اللوغاريتم الطبيعي للاساس e

$$\therefore \bar{u}i - \bar{u}o = E = \frac{RT}{ZiF} \ln \frac{Co}{Ci}$$

وهذه هي معادلة Nernst وعند التعويض عن R و T و F بما يقابلها وتحويل ln الى لوغاريتم للاساس ١٠ (log10) نحصل على مايلي :

$$E = \frac{58}{Zi} \log \frac{Co}{Ci}$$

عندما يعبر عن التركيز (Co و Ci) بالملي مول/ لتر فان E يعبر عنها بالمليفولت (mV) .

لنفرض ان نسيج فيه انسياب ايونات البوتاسيوم (K^+ flux) في حالة توازن وان تركيز البوتاسيوم في المحلول الخارجي هو ١ ملي مول (1mM = Co) وتركيزه داخل خلايا النسيج هو ١٠٠ ملي مول (100 mM = Ci) عند تطبيق المعادلة اعلاه نحصل على :

$$E = \frac{58}{+1} \log \frac{1}{100}$$

$$= 58(-2) = -116 \text{ Millivolts}$$

اي ان سايتوبلازم الخلايا مشحون بشحنة سالبة مقدارها(116-) مليفولت وبذلك فان ايونات البوتاسيوم يمكنها ان تتراكم داخل سايتوبلازم الخلايا الى ١٠٠ ضعف تركيزها الخارجي دون الحاجة الى صرف طاقة حيوية لامتصاصها (Passive uptake) .

معادلة Nernst يمكن ان تستخدم للايونات السالبة ايضا ولتطبيق نفس المثال اعلاه باحلال الكلور محل البوتاسيوم لحصلنا على مايلي :

$$E = \frac{58}{-1} \log \frac{Co}{Ci}$$

$$= \frac{58}{-1} (-2) = +116 \text{ mV}$$

وبصورة عامة يقلب $\frac{Co}{Ci}$ الى $\frac{Ci}{Co}$ في حالة الايونات السالبة للتخلص من العلامة السالبة في المقام اي يمكن ان تكتب المعادلة للايونات السالبة كما يلي :

$$E = \frac{58}{Zi} \log \frac{Ci}{Co}$$

من ذلك يتضح ان فرق شحنة كهربائية صغير يمكن ان يوازن فرق كبير في التركيز على جهتي الغشاء . وعموما اذا كان .E واطيء (اي قليل السالبية = - ٣٠ مليفولت مثلا) يصبح من الضروري امتصاص البوتاسيوم بصورة نشطة لكي يصبح تركيزه ١٠٠ ضعف تركيزه خارج الخلية .

اما اذا كان اكثر سالبية (-١٥٠ مليفولت) فعلى الخلية ان تضخ البوتاسيوم خارج الخلية (ضخ نشط Active pump) لكي لا يرتفع تركيزه عن ١٠٠ ضعف .

ان الطاقة الكامنة الكهربائية لسيتوبلازم الخلايا يمكن ان تقاس مباشرة باستخدام مجسات دقيقة جدا (Microelectrodes) وبذلك يمكن معرفة كمية الطاقة التي تحتاجها الخلية لكي تصل الى حالة التوازن السلبي عبر الغشاء واطلق على هذه الطاقة بالطاقة الدافقة وتساوي الطاقة المقاسة فعلا مطروحا منها الطاقة المحسوبة بمعادلة Nernst الطاقة الدافقة = الطاقة المقاسة - الطاقة المحسوبة بمعادلة Nernst.

مثال ١

في دراسة اجراها Spanswick و Williams (١٩٦٤) تم فيها قياس الطاقة الكامنة الكهربائية في سايتوبلازم وفجوة خلية طحلب Nitella والنتائج كانت كما يلي :

١ ـ الطاقة الكهربائية المقاسة في السايتوبلازم = - ١٣٨ مليفولت .
٢ ـ الطاقة الكهربائية المقاسة بين السايتوبلازم والفجوة = - ١٨ مليفولت .

والجدول رقم (٢ ـ ١) يوضح تفاصيل التراكيز في المحيط الخارجي والسايتوبلازم لايونات الصوديوم والبوتاسيوم والكلور .

جدول (٢ ـ ١)

نتائج قياسات الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية وتراكيز الصوديوم والبوتاسيوم والكلور والطاقة المحسوبة حسب معادلة Nernst في المحيط الخارجي والسايتوبلازم لطحلب الـ Nitella . مأخوذ عن Spanswick وWilliams (١٩٦٤)

الايونات	التركيز في المحيط الخارجي (ملي جزئي)	غشاء البلازما	التركيز في السايتوبلازم (ملي جزئي)	الطاقة الكامنة المحسوبة حسب معادلة (مليفولت)	فرق الطاقة بين المقاسة فعلا والمحسوبة حسب معادلة (مليفولت)
Na^{+}	١		١٤	ـ ٦٦	ـ ٧٢
K^{+}	٠,١		١١٩	ـ ١٧٨	+ ٤٠
Cl^{-}	١,٣		٦٥	+ ٩٩	ـ ٢٢٧

الحقل الاخير في الجدول يمثل قراءات القوة الدافقة حيث يلاحظ ان القوة الدافقة للصوديوم الموجب الشحنة هي ٧١ مليفولت وتحمل الاشارة السالبة ذلك يدل على ان الطاقة الكامنة الدافقة للصوديوم في المحيط الخارجي عالية لذلك فأنه يدخل الى داخل الخلية دون الحاجة الى صرف طاقة حيوية لامتصاصه اي ان امتصاصه حر او سالب (Passive uptake) . اما في حالة البوتاسيوم يلاحظ ان الطاقة الكامنة الدافقة هي ٤١ مليفولت لكنها تحمل اشارة موجبة وبما ان الايون موجب الشحنة فان دخول هذا الايون الى داخل السايتوبلازم لايتم الا بصرف طاقة حيوية (اي امتصاص نشط Active uptake) . في حالة الكلور الذي هو ايون سالب الشحنة تلاحظ ان الطاقة الكامنة الدافقة هي ٢٣٧ مليفولت وتحمل اشارة سالبة ايضا هذا يدل على ان امتصاص هذا الايون نشط ايضا . وكقاعدة أساسية هي انه اذا كانت اشارة الطاقة الدافقة سالبة والايون موجب الشحنة فان امتصاص ذلك الايون سيكون امتصاص حر اما اذا كانت اشارة الطاقة الدافقة موجبة والايون موجب الشحنة فان امتصاصه سيكون نشط . بالنسبة للايونات السالبة العكس هو الصحيح اي انه اذا كانت اشارة الطاقة الكامنة الدافقة سالبة والايون سالب الشحنة فان امتصاص الايون بصورة نشطة اما اذا كانت اشارة الطاقة الكامنة الدافقة موجبة للايون السالب فان امتصاصه حر .

النتائج في جدول (١-٢) توضح ان الطاقة الكامنة الدافقة للصوديوم هي ٥٧ مليفولت وتحمل شحنة سالبة أن هذا الايون يدخل الى سايتوبلازم الخلية من الفجوة بصورة حرة . اما في حالة البوتاسيوم والكلور فان الطاقة الكامنة الدافقة قليلة جدا (٦ و ٥ مليفولت على التوالي) لذلك فان هذين الايونين في حالة توازن تقريباً (Passive flux equilibrium) . الجدولين (٢ ـ ١ و ٢ ـ ٢) اوضحا ان الطاقة الكامنة الدافقة للصوديوم عالية وسالبة الشحنة اي ان دخوله الى سايتوبلازم حر لكن السؤال هو لماذا لم يتراكم هذا الايون داخل سايتوبلازم الخلية (جدول ٢ ـ ٣) .

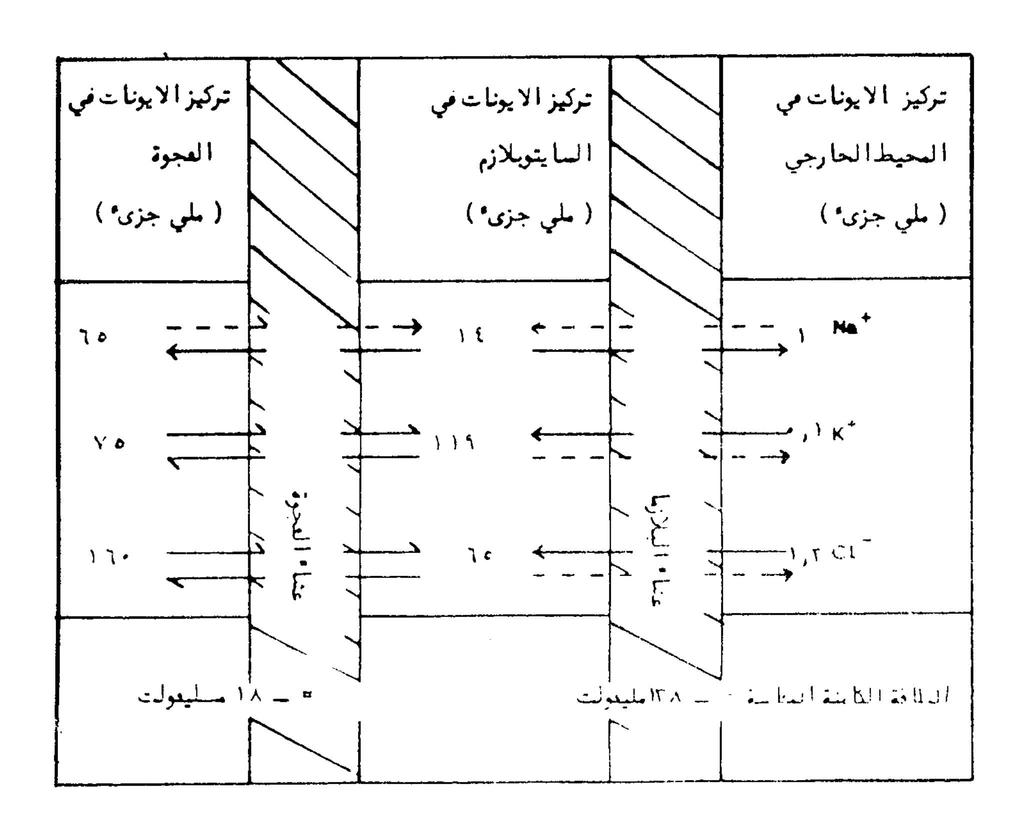
والجواب هو ان للخلية القابلية على الاحتفاظ بتركيز معين من كل عنصر وما زاد عن ذلك تضخه الى الفجوة او المحيط الخارجي ثانية وفي عملية الضخ هذه تصرف الخلية طاقة حيوية ويسمى الضخ الحيوي (Active Pump) .

جدول (٢ ـ ٢)

جدول تخطيطي لحالة الايونات في طحلب **Nitella** وتركيز كل ايون في المحيط الخارجي والسايتوبلازم الفجوة . السهم الصلب يمثل امتصاص او ضخ الايون بصورة نشطة . اما السهم المتقطع فيمثل الامتصاص السالب والسهمين المتعاكسين تعني ان الايون في حالة توازن . (مأخوذ عن **Spanswick** و **Williams** ١٩٦٤)

الايونات	التركيز في المحيط الخارجي الفجوه (ملي جزيء)	غشاء الفجوة	التركيز في السايتوبلازم (ملي جزيء)	الطاقة الكامنة المحسوبة حسب معادلة (مليفولت)	فرق الطاقة بين المقاسة فعلا والمحسوبة حسب معادلة (مليفولت)
Na^{+}	٦٥		١٤	+ ٣٩	ـ ٥٧
K^{+}	١٥		١١٩	ـ ١٢	ـ ٦
Cl^{-}	١٦٠		٦٥	ـ ٢٣	+ ٥

جدول ٢ ـ ٣ : جدول تخطيطي لحالة الايونات في طحلب **Nitella** وتركيز كل ايون في المحيط الخارجي والسايتوبلازم الفجوة . السهم الصلب يمثل امتصاص او ضخ الايون بصورة نشطة . اما السهم المتقطع فيمثل الامتصاص السالب والسهمين المتعاكسين تعني ان الايون في حالة توازن .



مثال ٢

في تجربة لدراسة تأثير صور النتروجين على امتصاص الكالسيوم وبقية الايونات الموجبة بواسطة نباتات الطماطة لاحظ Macklon و Sim (١٩٨٠) النتائج المبينة في جدول (٢ ـ ٤) .

جدول (٢ ـ ٤)

تأثير صور النتروجين على امتصاص الايونات الموجبة على اساس حساب الطاقة الكامنة الدافقة لكل ايون (مأخوذ عن Macklon و Sim ، ١٩٨٠)

صور النتروجين	Ca	Mg	K	Na	NH_4
	الطاقة الكامنة الدافقة (مليفولت)				
No_3	-٢٩ (حر)	-٢٦ (حر)	+٥ (نشط)	-٦٠ (حر)	–
NH_4No_3	-١٨ (حر)	-٩ (حر)	+٢١ (نشط)	-٢٩ (حر)	+٤٣ (نشط)
NH_4	-١٦ (حر)	-٨ (حر)	+٣٣ (نشط)	+٢٠ (نشط)	+٢٣ (نشط)

توضح النتائج اعلاه ان المعاملة بالنترات . (NO_3) .ادت الى تشجيع الامتصاص السالب للايونات الموجبة ماعدا البوتاسيوم الذي كان امتصاصه نشط . اما نترات الامونيوم. (NH_4NO_3) . فكان تأثيره مشابه للنترات على امتصاص الايونات الموجبة اضافة الى ان امتصاص الامونيوم كان نشط في هذه المعاملة . في حالة التغذية بالامونيوم (NH_4) . فقد نتج عنها امتصاص سالب للكالسيوم والمغنيسيوم في حين كان امتصاص البوتاسيوم والصوديوم والامونيوم امتصاصاً نشطاً . لقد استخدمت معادلة Mernstلتقدير كمية الايونات الداخلة الى خلايا الطحالب (MacRobbie ، ١٩٧٠) واستخدمت في مجال ضيق في النباتات الراقية . ومن هذه الدراسات المفصلة على ميكانيكية دخول الايونات الى داخل خلايا النباتات الراقية تلك التي اجراها Etherton و Higinbotham (١٩٦٠) و Higinbotham وآخرون (١٩٦٤ ، ١٩٦٧) حيث وجد هؤلاء الباحثون ان خلايا الشوفان والبزاليا والذرة الصفراء تحتوي على طاقة كامنة كهربائية تتراوح بين ـ ٨٠ الى ١٥٠ مليفولت عندما كان تركيز المحلول الخارجي ٠,١ ملي جزئي مع ملح كلوريد البوتاسيوم (KCl) . كما وجدت بعض الفروقات بين الطاقة الكامنة الكهربائية في الفجوات والسايتوبلازم لكن هذه الفروقات كانت طفيفة (MacRobbie ١٩٧٠) . وبصورة عامة وجد من خلال الدراسات على جذور ورويشة الشوفان وجذور وسيقان البزاليا ان امتصاص الايونات السالبة (Cl^- ، No_3^- ، $H_2PO_4^-$ ، SO_4^{2-}) هو امتصاص نشط تصرف فيه الخلية طاقة حيوية في حين ان امتصاص الايونات الموجبة(Na^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+}) تدخل الى

داخل الخلية اعتمادا على الطاقة الكامنة الدافقة (اي امتصاص حر) لكن لوحظ انها تستبعد ثانية من الخلية الى المحلول الخارجي او الفجوة وذلك بصرف طاقة حيوية (ضخ نشط) وبذلك يكون تراكم هذه الايونات داخل سايتوبلازم الخلايا اقل من المتوقع والمحسوب حسب معادلة Nernst (Hodges، ١٩٧٣). اما البوتاسيوم (K^+) فقد لوحظ انه قريب من حالة التوازن الكهروكيمياوي (Electrochemical equilibrium) لذلك فان امتصاصه سالب عندما يكون تركيزه في المحلول الخارجي منخفض ولكن عندما يكون تركيزه في المحلول الخارجي مرتفع فستحصل نفس الحالة السابقة حيث يستبعد بصورة نشطة من سايتوبلازم الخلايا .

هناك مصدر آخر لاحداث فرق في الطاقة الكامنة الكهربائية وهذا المصدر هو تركيب جدار الخلايا حيث يحتوي هذا الجدار على شحنات سالبة وهذه الشحنات غير متحركة وثابتة على جدار الخلايا ناتجة عن وجود مجاميع الكاربوكسيل ($R - COO^-$) متحدة مع البكتين ومركبات اخرى مما ينتج عنها مواقع للتبادل مع الايونات الموجبة الذائبة في المحلول المغذي وهذا مايطلق عليه السعة التبادلية للايونات الموجبة (Cation exchange capacity of the roots) كما توجد ايونات لمركبات عضوية تحمل شحنة موجبة وهذه المركبات تدخل في تركيب جدر الخلايا كالامينات كما توجد شحنات موجبة في السايتوبلازم ناتجة عن وجود البروتينات وهذه الايونات غير قابلة للانتشار خلال جدار الخلية او غشاء الفجوة . هذه الايونات الموجبة سواء المثبتة في جدار الخلية او السابحة في السايتوبلازم تعمل على جذب الايونات السالبة وهذا مايطلق عليه قابلية التبادل للايونات السالبة في الجذور (Anion exchange capacity of the roots) . ويمكن ان تعتبر هذه الطاقة الكامنة (الموجبة والسالبة) نوع من انواع الطاقة الكامنة للانتشار . ويطلق عليها بطاقة دونان (Donnan Potential) .

العلاقة بين الامتصاص النشط والامتصاص المعتمد على الطاقة

لقد ذكر Hodges (١٩٧٣) في تقريره المفصل حول امتصاص الايونات انه غالبا مايستخدم مصطلح الامتصاص النشط (Active uptake) بدلا من الامتصاص المعتمد على الطاقة (Energy-dependent uptake) وهذا غير صحيح والسبب يعود الى ان الاخير يمثل كل امتصاص او حركة للايونات يعتمد بصورة مباشرة او غير مباشرة على الطاقة الناتجة من التمثيل الحيوي والامتصاص في هذه الحالة ينتج عنه نسبة تراكم اكثر من واحد اي ان التركيز في داخل الخلية

(Ci) أعلى من التركيز في المحلول المغذى (Co) . في حين ان الامتصاص النشط يعني امتصاص الايونات عكس تركيزها وشحنتها اي عكس الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية (Electrochemical potential) . اي ان الفرق الاساسي بين الامتصاصين هو وجود فرق في الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية خارج وداخل الخلية الحية . فايونات المعادن ذات الشحنات تدخل او تخرج من الخلية كنتيجة لفرق التركيز والشحنة . ومن خلال الدراسات وجد ان السايتوبلازم مشحون بشحنة سالبة (كما ذكر سابقا) مقارنة بالمحيط الخارجي (المحلول المغذى) وبذلك فأن الايونات الموجبة ستدخل الى داخل السايتوبلازم والايونات السالبة ستندفع الى الخارج ونتيجة لذلك يرتفع تركيز الايونات الموجبة داخل الخلية مقارنة بتركيزها في المحيط الخارجي الا انه عندما نأخذ بنظر الاعتبار الاختلاف في التركيز وفي الشحنات اذ ان التركيز والشحنة يعتبران قوى فيزياوية فان اي ايون يمكن ان يكون داخل الخلية بتركيز مرتفع مقارنة بتركيزه في المحيط الخارجي وهذا النوع من الامتصاص يحصل استجابة لفرق الشحنات ويمكن ان يعتبر امتصاص معتمد على الطاقة (Energy-dependent uptake) الا ان الخلية تصرف طاقة حيوية للمحافظة على الطاقة الكامنة الكهروكيمياوية لسايتوبلازم الخلية . اما عملية انتقال الايونات بالذات فهي عملية فيزياوية صرفة تتم بالامتصاص الحر او السالب حيث ان الايونات تتحرك بقوة فيزياوية وبذلك فان استهلاك الطاقة يكون بطريقة غير مباشرة . بالنسبة للامتصاص النشط (Active uptake) فانه يعرف بتراكم الايونات داخل الخلية عكس شحنتها او تركيزها في المحيط الخارجي اي عكس الجهد الكهروكيمياوي وفي هذا الامتصاص يحصل استهلاك مباشر للطاقة الحيوية في هذه العملية . وخلاصة فان كل امتصاص نشط يعتبر امتصاص معتمد على الطاقة ولكن ليس كل امتصاص معتمد على الطاقة هو امتصاص نشط .

طرق الامتصاص الحر أو السالب Passive uptake

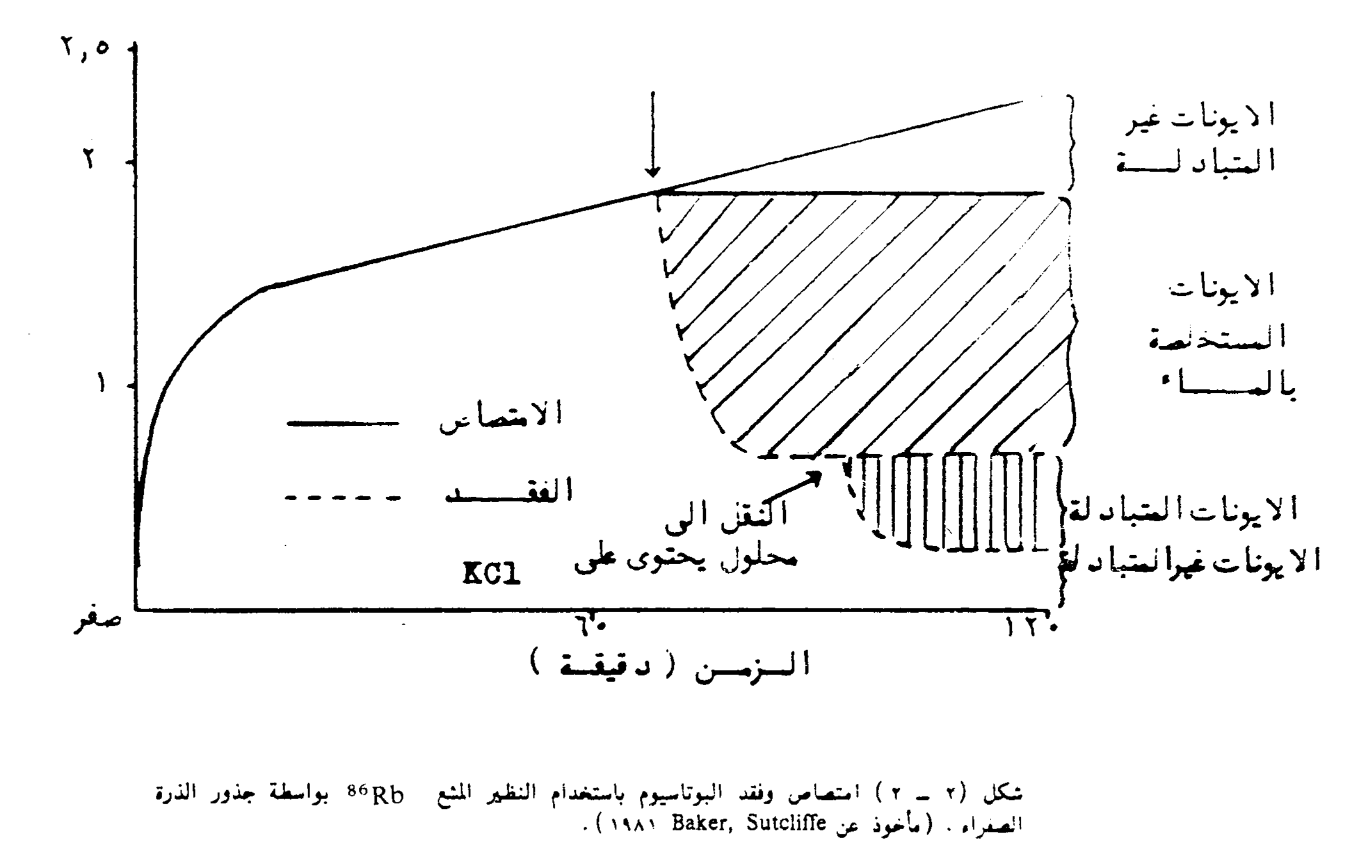
١ ـ الامتصاص من الفراغ الحر Free space uptake

اذا اخذ أي نسيج نباتي وغسل بالماء المقطر ثم غطس في محلول ملحي يلاحظ حدوث امتصاص سريع خلال ١٠ الى ٢٠ دقيقة ثم يبدأ الامتصاص ينخفض ويبقى على مستوى منخفض لعدة ساعات أو لعدة ايام احياناً . فالامتصاص السريع خلال الفترة الزمنية القصيرة الاولى (١٠ الى ٢٠ دقيقة الاولى) هو امتصاص متعاكس (reversible) وغير انتقائي (nonselective) وغير معتمد على الطاقة حيث انه في حالة ارجاع النسيج الى الماء المقطر ثانية لوحظ انه يفقد معظم ماامتصه عند مرحلة الامتصاص السريع لذلك سمي بالجزء الذي يمكن استخلاصه بالماء . كما ان هناك

جزء آخر يمكن ان يستخلص في حالة نقل النسيج المغسول بالماء المقطر الى محلول يحتوي على ملح آخر وهذا الجزء يسمى بالجزء المتبادل حيث ان الايونات الممتصة (في الحقيقة مدمصة على اسطح جدر الخلايا) تتبادل مع ايونات المحلول الملحي الجديد وتتحرر الاولى الى المحلول الملحي الجديد وهذا الجزء يمكن ان يقدر بدقة خصوصاً عند استعمال النظير المشع للايون المراد تقديره . والمخطط البياني التالي يوضح مكونات الامتصاص من الفراغات البينية (شكل ٢ ـ ٢) .

وبصورة عامة ان الامتصاص السريع في الفترة الزمنية الاولى يمثل حركة الايونات الى الفراغ الحر في النسيج ولذلك يطلق عليه دائماً امتصاص الفراغ الحر . اما الجزء الذي يمكن استخلاصه بالماء يمثل الايونات الذائبة في المحلول الموجود في الفراغ الحر لجدار الخلايا (Water-Free space) في حين الجزء المتبادل من الايونات مع المحلول الملحي يمثل الايونات المدمصة على اسطح جدر الخلايا ويطلق عليها Donnan-Free space . ولتوضيح ذلك فقد اخذ Epstein (١٩٥٥) غرام واحد من جذر الشعير (وزن طري) وغطسها في محلول كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) بتركيز ٢٠ ميكرومول/ مل (20um /ml) . اخذت الجذور من المحلول ووضعت بين الورق لغرض تنشيفها وازالة قطرات المحلول العالق على اسطح الجذور ثم نقلت الى ماء معلوم الحجم وبعد فترة وجد ان الكبريتات تحررت الى الماء وكميتها كانت ٤,٤٥ مايكرومول (SO_4). وان تفسير هذه التجربة البسيطة هو ان جزء من حجم الجذور لم يكن محجوزاً بواسطة غشاء أو جدار وعندما غطست الجذور في المحلول الملحي حصلت عملية الانتشار بين المحلول الموجود في هذا الفراغ والمحلول الملحي الى ان حصلت حالة التوازن في التركيز وبذلك اصبح تركيز الكبريتات في المحلول الكلي ٢٠ ميكرومول/ مل (تركيز الكبريتات في المحلول الخارجي في الفراغ الحر بين جدران الخلايا) . وعندما نقلت الجذور بعد تنشيفها الى دورق الماء (ذات حجم كبير مقارنة بحجم الفراغ الحر بين جذر الخلايا) فالكبريتات انتشرت من الجذور الى الماء لحين حصول حالة التوازن في التركيز . وفي هذه التجربة ان كمية الكبريتات المفقودة (أي المتحررة الى الماء) من غرام واحد من الجذور هي ٤,٤٥ ميكرومول فاذا افترضنا ان هذه الكبريتات المتحررة الى الماء كانت في الحقيقة في حالة تعادل مع المحلول الملحي الخارجي قبل نقلها الى الماء (تركيزها ٢٠ ميكرومول/ مل) . اذن سيكون الحجم الذي شغلته هذه الكمية من الكبريتات يعادل $\frac{٤,٤٥}{٢٠}$ = ٠,٢٢ مل .

مما تقدم يتضح ان الحجم الموجود في غرام واحد من وزن الجذور هو ٠,٢٢ مل وهذا ما اطلق عليه بالفراغ الخارجي Outer space حسب المعادلة التالية :



شكل (٢ ـ ٢) امتصاص وفقد البوتاسيوم باستخدام النظير المشع ^{86}Rb بواسطة جذور الذرة الصفراء. (مأخوذ عن Baker, Sutcliffe ١٩٨١).

$$\text{حجم الفراغ الحر} = \frac{\text{تركيز الايونات المنتشرة}}{\text{التركيز في المحيط الخارجي}}$$

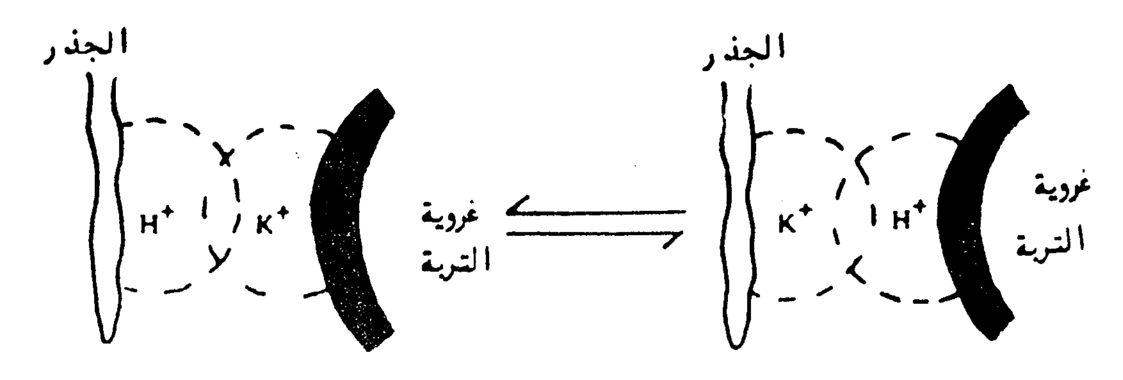
عندما يرمز للايونات المنتشرة بالميكرومول لكل غرام من الوزن الطري للنسيج والتركيز في المحيط الخارجي هو ميكرومول/ مل بذلك يرمز لحجم الفراغ الحر (مل/ غرام).

٢ ـ اتزان دونان Dannan equilibrium

ولايضاح اتزان دونان نأخذ نسيج معين ونغطسه لعدة دقائق في محلول ملحي مثل كلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) ثم نغسله بالماء فالاملاح التي انتشرت في الفراغ الخارجي للجذور ستخرج ثانية خارج الجذر ويحل محلها الماء ولكن عند اخذ هذا النسيج المغسول وغمسه في محلول ملحي آخر ككبريتات المغنيسيوم مثلا ($MgSO_4$) نلاحظ ان جزء من الكالسيوم يتحرر الى هذا المحلول. من ذلك نستنتج ان هذا الكالسيوم كان ممسوك بقوة معينة لذلك لم يزال بعملية الغسل بالماء كما حصل لجميع الكلور. هذه القوة عرفت فيما بعد بالسعة التبادلية للايونات الموجبة للجذور (كما سبق ذكرها). إن الايونات الموجبة (Ca^{2+}) كانت مدمصة على اسطح جدر خلايا ذلك النسيج وعندما غطس في محلول كبريتات المغنيسيوم حصلت عملية استبدال الكالسيوم بأيونات المغنيسيوم على اسطح جدر الخلايا وتحرر الاول الى المحلول.

٣ ـ طريقة التبادل الايوني Ion exchange

ان الايونات الذائبة في محلول التربة بصورة عامة تكون بتركيز اقل من تلك المدمصة على اسطح غرويات التربة والمواد العضوية. فالنترات (NO_3) والكبريتات ($SO_4^{=}$) بصورة عامة تكون ذائبة في محلول التربة كايونات سالبة غير مدمصة في حين ان الفوسفات تكون مدمصة على اسطح الغرويات كما سبق شرحه حول جاهزية هذا العنصر (الفصل الاول). بذلك فإن الايونات السالبة تمتص من محلول التربة في حين ان الايونات الموجبة المدمصة على اسطح غرويات التربة قد تحصل لها عملية تبادل مع ايونات الهيدروجين المدمصة على اسطح جدر خلايا الجذور لذلك سميت هذه النظرية بنظرية التبادل بالملامسة (Contact exchange Theory). وطبقاً لهذه النظرية فإن الايونات الموجبة تنتقل من غرويات التربة الى اسطح الجذور دون الحاجة الى ان تتحرر الى محلول التربة كما في شكل (٢ ـ ٣).



(شكل ٢ ـ ٣) مخطط حول كيفية حصول عملية التبادل الايوني في نظرية التبادل للايونات بالتماس (محور عن Baker, Sutcliffe، ١٩٨١).

وفي تجربة لحساب كمية الايونات الممتصة بعملية التبادل بالتماس وجد Dittmer (١٩٣٧) إن المساحة السطحية لجذور نباتات الشيلم الحولي (rye plant) التي بتماس مع التربة هي ٦٤٠ م^٢ وعدد النباتات يصل الى ١,٥ مليون نبات بالهكتار وبذلك تصبح المساحة السطحية للجذور التي تكون بتماس مع التربة = (٦٤٠ × ١٠^٦ × ١,٥) م^٢ أو = (٦٤٠ × ١٠^{١٠} × ١,٥) سم^٢ .

كما وجد ان معادن الطين لها كثافة من الشحنات تعادل تقريباً ٣ × ١٠$^{-٧}$ ملي مكافيء/ سم^٢ . فاذا افترض ان التربة تحتوي على ٢٠ ٪ طين وان نسبة التشبع بالبوتاسيوم لهذه المعادن تعادل ٣ ٪ وان هذه الكمية من البوتاسيوم المدمص على تماس مع اسطح الجذور فبذلك يمكن حساب كمية البوتاسيوم المتبادل مع اسطح الجذور حسب المعادلة التالية :

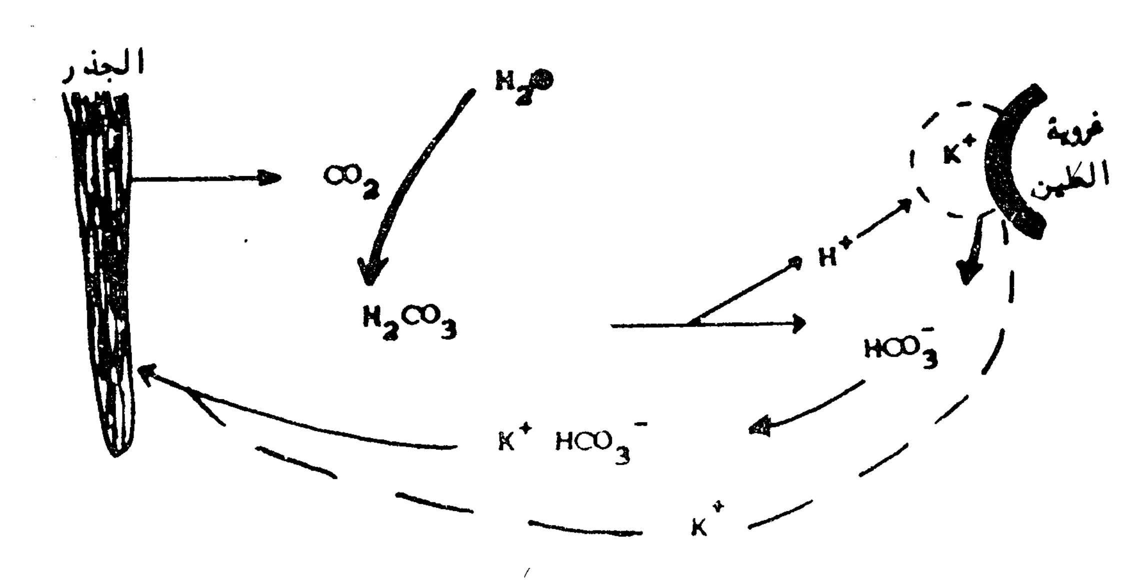
$$\text{البوتاسيوم المتبادل} = \frac{٦٤٠ \times ١,٥ \times ١٠^{١٠} \times ٢٠ \times ٣ \times ١٠^{-٧} \times ٣}{١٠٠ \times ١٠٠}$$

= ١٧,٣٠٠ ملي مكافيء بوتاسيوم

كمية البوتاسيوم = ١٧,٣ × ٣٩ = ٠,٧ كغم بوتاسيوم

هذه الكمية قليلة جداً مقارنة بما يحتاجه هذا النبات حيث يضاف ٧٠ ـ ١٠٠ كغم/ هكتار لكي ينمو النبات بصورة جيدة . هذه النظرية تتعرض الى انتقادات كثيرة لذلك اقترح وجود نظرية اخرى هي ان غاز ثاني اوكسيد

الكاربون (CO_2) المنتج بواسطة التنفس يأخذ جزيئة ماء فيتكون حامض الكاربونيك (H_2CO_3) ويتحلل هذا الحامض فيتحرر ايون الهيدروجين ويحل محل الايون الموجب (الايونات الموجبة ثنائية الشحنة تحتاج الى ذرتين هيدروجين) ويدمص الاخير على سطح جدار خلايا الجذر ويمتص بالانتشار (Diffusion) وهي طريقة للامتصاص الحر أو السالب وان امتصاص الايون الموجب في هذه الحالة يكون بمفرده أو على شكل زوج من الايونات (سالب HCO_3^- وموجب K^+) كما في الشكل (٢ ـ ٤) .



(شكل ٢ ـ ٤) مخطط يوضح امتصاص الايونات لعملية التبادل الايوني حسب نظرية تبادل حامض الكاربونيك Carbonic acid exchange theory محور عن Sutcliffe و Baker ، ١٩٨١) .

وقد اطلق على هذه النظرية بنظرية تبادل حامض الكاربونيك (Carbonic acid exchange theory) والاعتقاد العام ان النظريتين سائدتان في معظم الترب وان سيادة احداهما على الاخرى تعتمد على محتوى التربة من الماء ودرجة حموضة التربة (pH) ونوعية الايونات المتبادلة .

٤ ـ الانتقال الكتلي Mass-flow transport

يعتقد ان انتقال الايونات لحو سطح الجذور يتم بطريقتين هما الانتشار حسب التركيز والانتقال بالجريان الكتلي حيث ان عملية النتح تسبب زيادة في معدل الامتصاص ولكن هل ان تأثير النتح هو تأثير مباشر أو غير مباشر على امتصاص الايونات فهو غير واضح الا ان الاعتقاد السائد ان زيادة معدل النتح تسبب سحب للايونات مع الماء الذي يدخل خلايا الجذر (تأثير مباشر) أو ان النتح يسبب ازالة الايونات من خلايا الجذور لحو الخشب (Xylem) الى الساق والاوراق وبالتالي حدوث انخفاض في تركيز تلك الايونات في خلايا الجذور وبالتالي يستمر دخول الايونات بطرق الامتصاص الاخرى .

ميكانيكية الامتصاص النشط Active uptake Mechanism

١ ـ مصدر الطاقة Source of energy

كما هو معلوم فان الامتصاص النشط (امتصاص عكس التركيز والشحنة) يحتاج الى طاقة حيوية . يحصل النبات على الطاقة الحيوية من خلال اكسدة نواتج التركيب الضوئي واهم هذه النواتج هي الكربوهيدرات (السكريات) . ولحساب كمية الطاقة المصروفة لادخال جزيء واحد من محلول ما عكس عشرة اضعاف تركيزه في المحيط الخارجي عبر غشاء يمكن استخدام المعادلة التالية :

$$G^0 = 2{\cdot}303\ RT \log \frac{C_i}{C_0}$$

عندما

R = الثابت الغازي = 1.987 سعرة/ مول/ درجة .

T = درجة الحرارة المطلقة = 273 + درجة الحرارة بالمئوي في هذه الحالة افترض ان العملية تتم بدرجة حرارة ٢٠ م .

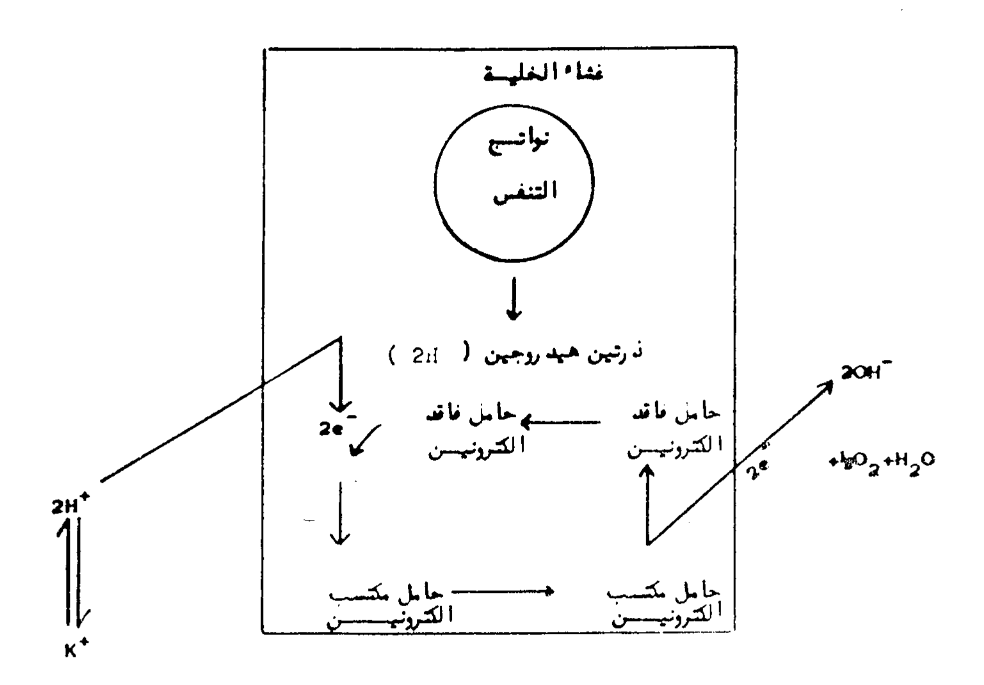
$$G^0 = 2{\cdot}303 \times 1{\cdot}987 \times 293 \times \log \frac{10}{1}$$

$$= 2{\cdot}303 \times 1{\cdot}987 \times 293 \times 1$$

$$= 1340\ \text{cal / mol}$$

اي اننا لحتاج الى ١٣٤٠ سعرة/ مول . ان التحلل المائي لجزيئة الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) ينتج عنها ٧٦٠٠ سعرة من ذلك يتضح انه توجد طاقة

كبيرة متوفرة ناتجة من تحلل جزيئات الـ ATP لنقل ايون أو مجموعة من الايونات عكس تركيزها داخل الخلية (اي عكس تدرج التركيز بين المحيط الخارجي وسايتوبلازم الخلية) . ويعتقد Robertson (١٩٦٨) ان انفصال ايونات الهيدروجين والالكترونات في غشاء الخلية ربما يشجع حركة الايونات وتبادل البروتونات ومثال ذلك استبدال ايون الهيدروجين بالبوتاسيوم والهيدروكسيل بالكلور حسب الشكل (٢ ـ ٥) .



(شكل ٢ ـ ٥) مخطط يوضح انفصال ايونات الهيدروجين والالكترونات في غشاء الخلية . ان انفصال الشحنة ينتج عنه ايون الهيدروجين على جهة من الغشاء في حين تنطلق الالكترونات الى الجهة الاخرى منه حيث ينتج عنه ايون الهيدروكسيل (OH^-) (محور عن Sutcliffe و Baker ، ١٩٨٢) .

٢ ـ نظرية الحامل أو الناقل Carrier Theory

منذ عام ١٩٣٦ اعتقد Osterhout بان الايونات تتحد مع بعض المركبات الموجودة في اغشية الخلايا بهدف الانتقال من جهة الى جهة اخرى عبر الغشاء ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلة التالية :

$$KOH + XH \rightleftharpoons KX + H_2O$$

حيث ان (KX) سينتقل من الخارج الى الداخل عبر غشاء الخلية وينفصل الايون نحو الداخل ويعود المركب (XH) لينقل ايون آخر وهكذا .

المخطط (شكل ٢ ـ ٦) يوضح ان الحامل الايوني ينشط اولا وعملية التنشيط تحتاج الى طاقة (ATP) يحصل عليها من عملية التنفس وانزيم مناسب وقد ذكر ان الانزيم هو الكاينيز (Kinase) أو الفوسفوكاينيز (Phosphokinase) حيث يؤثر هذا الانزيم على تنشيط الحامل (فسفرة الحامل) . ويعتقد بعض الباحثين ان عملية التنشيط هي عملية تغير في تركيب الحامل مما يساعده على الارتباط بالايون . والحامل المنشط ربما يكون معقد مع الايون عند سطح الغشاء الخارجي فيطلق عليه معقد الحامل الايوني (Carrier-ion complex) . هذا المعقد الحامل الايوني ينشطر عند سطح الغشاء الداخلي ويعتقد ان انزيم الفوسفاتيز (Phosphatase) هو الذي يتوسط انشطار الفسفور ويصبح الحامل ضعيف فينطلق الايون الى السايتوبلازم (الفراغ الداخلي) أو الفجوة ويعود الحامل ينشط ثانية . ويمكن تمثيل ذلك بالمعادلات التالية :

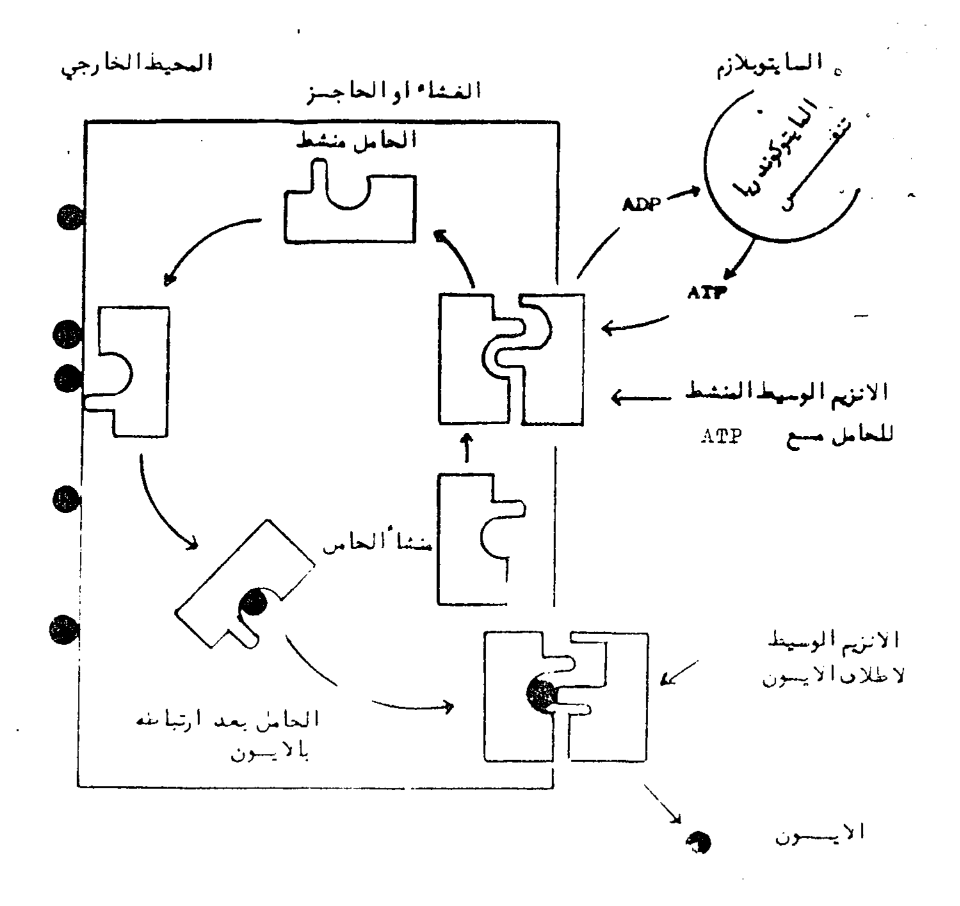
حامل + ATP ⟵⟵ (Phosphokinase) ⟵ حامل منشط* + ADP

حامل منشط* + ايون ⟵⟵ معقد الحامل الايوني*

معقد الحامل الايوني* ⟵⟵ (Phosphatase) ⟵ فوسفات + ايون + حامل خامل

وكمحصلة ATP + ايون ⟵ (انتقال) ⟵ ايون + ADP + فسفور غير عضوي

وبصورة عامة يعتقد ان الحامل (Carrier) هو عبارة عن مركبات بروتينية حيث لوحظ ان قابلية الخلية على تجميع الايونات يعتمد على قابليتها في تصنيع البروتينات . وبناء على ذلك فان تثبيط تصنيع البروتينات يقلل من امتصاص الايونات . هذا على افتراض ان الحامل يتجدد ويصنع باستمرار . لقد لاحظ Sutcliffe (١٩٦٣) ان اضافة مثبط تصنيع البروتينات (Cycloheximide) سبب انخفاض كبير في امتصاص البوتاسيوم والصوديوم والكلور بواسطة جذور الشوندر ونتائج هذه التجربة اثبتت بصورة واضحة اعتماد امتصاص هذه الايونات



(شكل ٢ ـ ٦) مخطط يوضح فكرة ارتباط الايونات بالحامل وانتقالها من جهة لاخرى عبر الغشاء (محور عن Mengel و Kirkby ، ١٩٨٢).

على تصنيع البروتينات . كما ان البروتينات تدخل في تركيب اغشية الخلايا ولها القابلية على الاتحاد مع الايونات ولها القابلية ايضاً على تغير مواقعها على الغشاء . وجميع هذه الصفات جعلت الباحثين يعتقدون ان الحامل هو مركب بروتيني .

بقيت نظرية الحامل بدون تفصيلات حول الميكانيكية لعمل هذا الحامل حتى عام ١٩٥٢ حيث استنتج Epstein و Hagen ان هذا الحامل يتبع في عمله النظرية الحركية للانزيمات التي وضعها Michaelis-Menten . ان اساس النظرية الحركية للحامل تعتمد على افتراض ان هذه المركبات العضوية (الحامل) له واحد أو اكثر من المواقع الفعالة للارتباط بالايونات . هذا الحامل اما ان يتحرك مع الايون خلال غشاء الخلية من جهة لاخرى او ان الايون يتحول من موقع لاخر على نفس الحامل ثم ينطلق لحو الداخل . لقد لوحظ انه عند تغير تركيز الروبيديوم (Rb) وهو عنصر مشابه للبوتاسيوم في صفاته ، فان عملية الامتصاص في التراكيز المرتفعة تتشبع . هذه الملاحظة تتلائم مع الرأي القائل ان الحامل (X) توجد عليه عدة مواقع التي ترتبط مع الروبيديوم وبمجرد تشبع هذه المواقع فان الامتصاص سيكون في اقصى سرعة له (Vmax) وان زيادة تركيز الربيديوم في المحيط الخارجي سوف لن تزيد من معدل سرعة امتصاصه .

وبصورة عامة يعتقد الباحثون بوجود نظامين ..لان حسب النظرية الحركية في نقل الايونات هما نظام رقم (١) (System 1) والذي يكون فعال عندما يكون التركيز الخارجي للايونات اقل من ٠,٥ ملي مول ونظام رقم (٢) (System 2) الذي ينشط عندما يكون التركيز في المحيط الخارجي ٥٠ ملي مول (Epstein ، ١٩٧٢) . فمثلا في حالة امتصاص البوتاسيوم فان نظام رقم (١) له قابلية عالية لامتصاص الايونات $\left(\frac{1}{Km}\right)$ ويكون امتصاص انتقائي Selective ويخضع الى النظرية الحركية Michaelis-Menten Kinetics . اما نظام رقم (٢) فله قابلية منخفضة لامتصاص الايونات وذات انتقائية منخفضة ايضاً وله عدة مواقع للامتصاص وهو غير خاضع لقانون النظرية الحركية بصورة كاملة .

موقع النظامين

هناك نظريات متضاربة حول موقع هذين النظامين في اغشية الخلايا فمثلا يعتقد Epstein (١٩٧٢) ان النظامين (١ و ٢) موجودان في غشاء الخلية (Plasmalemma) في حين يعتقد Laties (١٩٦٩) ان نظام (1) موجود في غشاء الخلية ونظام (٢) موجود في غشاء الفجوة (Tonoplast) . واعتماداً على Laties

(١٩٦٩) فان نظام (٢) لايمكن ملاحظته حتى يمتلىء السايتوبلازم بالايونات وهذا مايحدث فعلا وبسرعة في التراكيز العالية للايونات في المحيط الخارجي وفي هذه الحالة فان نظام (١) سيحجب بسبب الامتصاص الكثير بفعل نظام (٢) وبذلك فان الامتصاص في التراكيز المرتفعة للايونات يتضمن امتصاصاً بواسطة نظام (١) مضافاً له جزء بالانتشار (Diffusion) . لقد وجد ان اقصى سرعة (Vmax) لامتصاص البوتاسيوم بواسطة جذور الشمير في تركيز منخفض ملح كلوريد البوتاسيوم (KCl) هو ١٢ مايكرومول لكل غرام جذور بالساعة بنظام (١) في حين في التركيز المرتفع من الملح كان الامتصاص (Vmax) هو ٢٤ ميكرومول لكل غرام جذور بالساعة بنظام (٢) . لذلك اعتقد Laties (١٩٦٩) ان الامتصاص بواسطة نظام (٢) يكون عبر غشاء الفجوة وان مايدعم هذا الاعتقاد هو ان المناطق المرستيمية من جذور الذرة والتي تكون فجوات خلاياها صغيرة جداً يكون الامتصاص بنظام (١) فقط في حين في الجذور ذات الفجوات الكبيرة في خلاياها يكون بواسطة النظامين(Laties و Torii ، ١٩٦٦) ،لكن Epsrein (١٩٧٢) يرفض فكرة كون النظامين يعملان بالتعاقب حيث يعتقد انه لايحصل انتشار (امتصاص حر) للايونات عبر غشاء الخلية لذلك فان النظامين موجودان في غشاء الخلية ويعملان بشكل متوازي . .لقد وجد Welch و Epstein (١٩٦٨) ان جذور الشمير المعرضة الى محلول يحتوي ١٠ ملي مول من ملح كلوريد البوتاسيوم كان امتصاص K في النظامين تجميعي ولكن عندما اضيف الصوديوم تدريجياً الى ان اصبح تركيزه ٥٠ ملي مول تسبب في تثبيط امتصاص البوتاسيوم في نظام (٢) في حين ان الامتصاص في نظام (١) بقي مستمراً . واعتماداً على ذلك فقد استنتج انه بالرغم من ان امتصاص البوتاسيوم في هذا التركيز المرتفع هو في مدى الامتصاص بنظام (٢) لكن هذا النظام لم ينظم الامتصاص ولا يعمل بالتعاقب وانما يعمل بالتوازي مع النظام (١) كما اعتقد Epstein (١٩٧٢) ان النظامين موجودان في غشاء الخلية ويعملان بصورة متوازية .

تمثيل النظرية الحركية لامتصاص الايونات رياضياً

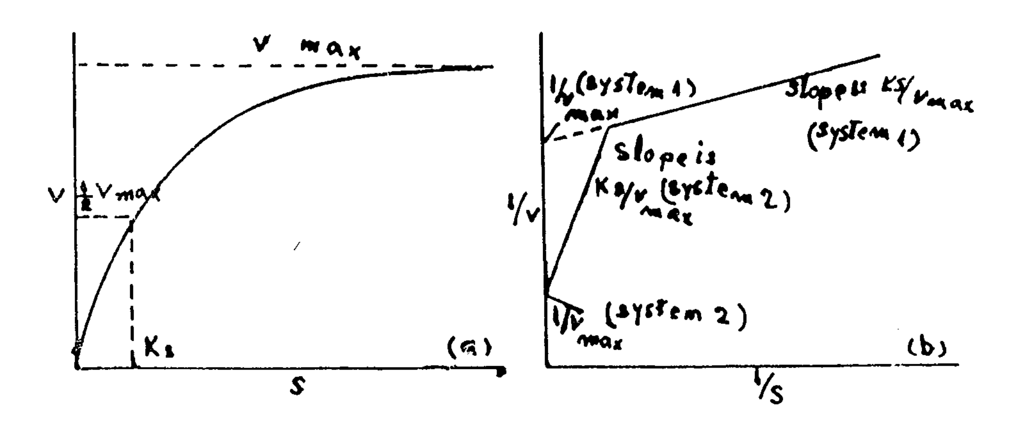
بصورة عامة ان معدل الامتصاص النشط بتناسب طردياً مع تركيز الايونات الواطيء ثم تقل الزيادة كلما ازداد التركيز ويمكن تمثيل هذه العلاقة بالمعادلة التالية :

$$V = \frac{S \times Vmax}{Ks + S}$$

حيث ان :

V = معدل سرعة الامتصاص النشط للايونات .
Vmax = اقصى معدل لامتصاص الايونات عندما تكون جميع الحوامل مشبعة بالايونات .
Ks = ثابت ويمثل صفة الايون النافذ خلال غشاء معين ويرمز له بالتركيز (ملي مول) .
S = تركيز الايون في المحيط الخارجي (ملي مول) .

هذه المعادلة مشابهة تماماً لمعادلة Michaelis-Menten التي استخدمت لتمثل التفاعلات الانزيمية وقد أستخدم Ks في هذه المعادلة محل Km في معادلة التفاعلات الانزيمية وان Ks يساوي تركيز المحلول الذي يكون فيه معدل سرعة الامتصاص النشط نصف اقصى معدل الامتصاص للايونات ($\frac{1}{2}$ Vmax) وعند التعويض عن بالتركيز في المعادلة السابقة سنحصل على مايلي (شكل ٢ ـ ٧) .



(شكل ٢ ـ ٧)

أ ـ يمثل العلاقة بين تركيز المحلول في المحيط الخارجي (S) ومعدل الامتصاص النشط V اعتماداً على معادلة Michaelis-Menten حسب النظرية الحركية .

ب ـ تحويل العلاقة في أ الى علاقة خطية حيث نتج عنها وجود خطين لكل منها Ks و Vmax يختلف عن الاخر . (محور عن Epstein ، ١٩٧٢) .

$$\frac{K_s \ Vmax}{2 \ K_s} = \frac{Vmax}{z \ ks} = \frac{Vmax}{2}$$

وعندما يمثل $\frac{1}{V}$ و $\frac{1}{S}$ بشكل خط مستقيم (طريقة Lineweaver-Burk)

لحصل على خطين مستقيمين يكون فيها $\frac{1}{Vmax}$ على محور الصادات (الاحداثي الرأسي) والانحدار يساوي $\frac{Ks}{Vmax}$ كما في الشكل (٢ ـ ٧ ب) وعموماً فان هذا النوع من التمثيل يعطي انحدارين مختلفين وبذلك يمكن الحصول على قيمتين مختلفتين لكل من Ks و Vmax . هذه النتيجة ادت الى الاستنتاج بوجود نوعين من انظمة الحامل لنقل وامتصاص الايونات . بالرغم من ان نظرية امتصاص الايونات بواسطة الحوامل هي النظرية الواسعة الانتشار لتفسير الامتصاص النشط للايونات لكن توجد بعض الاعتراضات عليها . ومن اهم الاعتراضات هي انه بالرغم من تحقيق بعض التقدم في التعرف على طبيعة الحوامل الا انه لم يتوصل لحد الان الى تفاصيل تركيبها وعملها . ان امتصاص الايونات بهذه الطريقة يهمل تأثير فرق الجهد الكهربائي بين جانبي غشاء الخلية كما وانه يهمل معامل التنافذ (Permeability coefficient) لذلك الغشاء (Higinbotham ، ١٩٧٣) .

الانتقائية او الاختيارية Selectivity

ان نظرية امتصاص الايونات بواسطة الحامل (Carrier) تنص على ان الايونات تدمص على الموقع الفعال لهذا الحامل ثم ينتقل الى حامل اخر مشابه او ينتقل الايون والحامل الى الطرف الثاني من الغشاء الخلوي ويتحرر الايون ويعود ليأخذ ايون آخر ويمكن تمثيل عمل الحامل بالقارب الذي يسع عدد معين من الاشخاص لينقلهم الى الجانب الاخر من النهر ويعود ليكرر العملية وهكذا . اذن في هذه الحالة يشترط وجود موقع فعال على الحامل لنقل الايونات . ومن خلال تشبيه عملية امتصاص الايونات بعمل الانزيمات التي لها اجزاء او مواقع فعالة تربطها بالوسط (Substrate) الذي تعمل عليه وغالبا مايكون هذا الوسط محدد النوعية حيث لايعمل الانزيم على وسط آخر حتى وان كان مشابة الى الوسط الاول بدرجة كبيرة . ومن خلال هذا الترابط بين العمليتين فقد توقع الباحثون من انه توجد حوامل معينة تنقل ايونات معينة وهذا مايسمى الانتقائية ولتوضيح ذلك اجرى Epstein (١٩٧٣) دراسة استخدم فيها جذور الشعير حيث وضعها في محلول يحتوي على ٠,٠٠٥ الى ٠,٢٠ ملي مول من البوتاسيوم مع اضافة الصوديوم بصورة تدريجية .

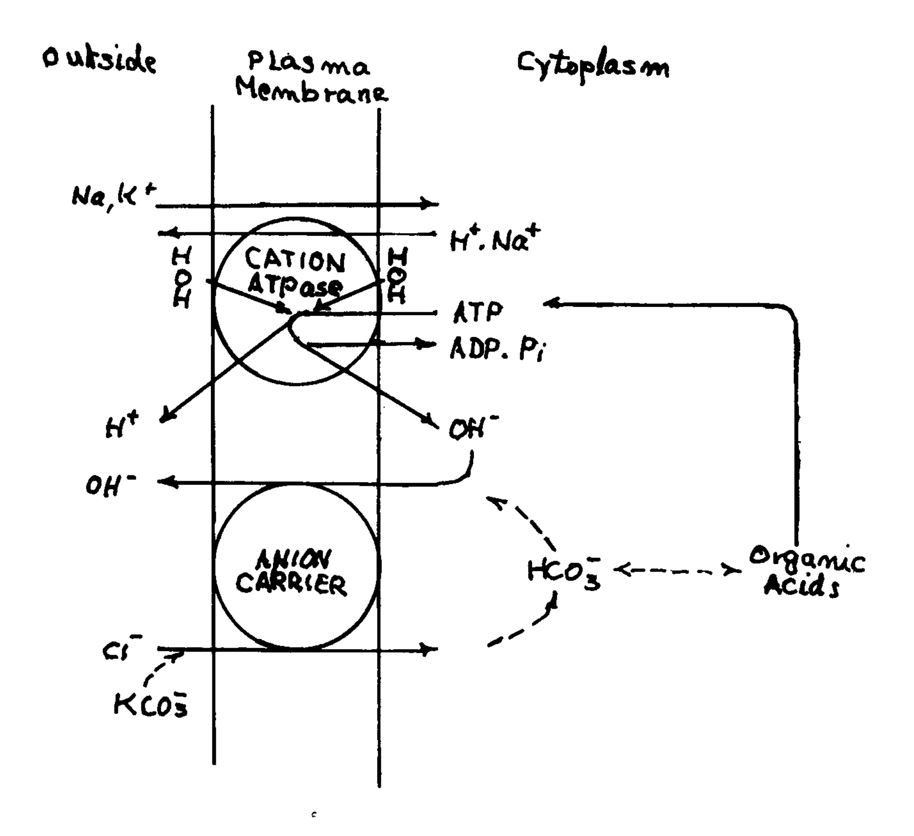
اوضحت الدراسة بان امتصاص البوتاسيوم لم يكن حساسا لوجود الصوديوم حتى عند رفع تركيز الاخير في المحلول المغذى الى ٠,٥٠ ملي مول اي مايعادل ١٠٠ ضعف تركيز البوتاسيوم . واعتمادا على النظرية الحركية لامتصاص الايونات بوجود الحوامل فان هذه النتيجة يمكن تفسيرها على اساس ان الموقع الفعال للحامل

الذي ينقل البوتاسيوم له ميل ضعيف للاتحاد بالصوديوم . وبناء على ذلك فان الصوديوم ذو تنافس ضعيف مع البوتاسيوم على الامتصاص . وفي تجربة اخرى مع جذور نفس النبات السابق لوحظ ان امتصاص الكلور لم يتأثر بوجود الفلور واليود وهذا دليل واضح على الانتقائية حيث ان البوتاسيوم والصوديوم هما من نفس المجموعة في الجدول الدوري وكذلك الكلور والفلور واليود تقع ضمن نفس المجموعة من الجدول الدوري ورغم تشابهها لوحظ وجود الانتقائية في امتصاص البوتاسيوم والكلور دون العناصر الاخرى . ولذلك عندما تكون العناصر مختلفة وليست من نفس المجموعة في الجدول الدوري فان الانتقائية تكون واضحة . وفي تجربة اجراها Elzam (١٩٦٦) لوحظ ان امتصاص الكلور من محلول يحتوي على ٠,١ ملي مول لم يتأثر بزيادة تركيز الكبريتات (SO_4^{2-}) حتى عندما كان تركيز الاخير ٥٠٠ ضعف تركيز الكلور . وبالرغم مما تقدم حول وجود انتقائية للحوامل لامتصاص ونقل الايونات توجد بعض الايونات تتنافس مع ايونات اخرى وربما يعود ذلك لتقاربهم من الناحية الكيمياوية حيث يصبح من الصعب على الحامل التمييز بين الايونين وبذلك فان هذين الايونين يتنافسان فيما بينهما على الامتصاص . وربما احسن مثال في هذا السياق هو تنافس البوتاسيوم والروبيديوم وتنافس الكالسيوم والسترونتيوم وتنافس الكلور والبروم وغيرها حيث تتنافس هذه الايونات على الامتصاص وان اضافة احدهم الى المحلول يقلل من امتصاص الاخر (Epstein ، ١٩٦٢) .

٣ ـ نظرية الامتصاص النشط بواسطة الضخ الايوني Ion Pump Theory

أعتمادا على هذه النظرية تعمل انزيمات تحرير الطاقة ATP ase على فصل الادينوسين ثلاثي الفوسفات الى ادينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) والفوسفات اللاعضوي (Pi) . ينتج عن عملية الفصل هذه طاقة يمكن ان تستخدم في امتصاص الايونات . وما يؤكد ذلك وجود مثل هذه الانزيمات في غشاء الخلية النباتية اضافة لما وجده Fisher وآخرون (١٩٧٠) من وجود علاقة موجبة بين فعالية هذه الانزيمات وامتصاص الايونات . وهناك دليل اخر حول اهمية فعالية انزيمات تحرير الطاقة (ATPase) في امتصاص الايونات هو التشابه الكبير بين ايونات البوتاسيوم المنشطة لعمل هذه الانزيمات والبوتاسيوم المستخلص من اغشية خلايا جذور الشوفان وتلك التي امتصت حسب النظرية الحركية Leonard و Hodges (١٩٧٣) . تؤكد هذه الدلائل ان الادينوسين ثلاثي الفوسفات ومن خلال عمل انزيمات تحرير الطاقة هي الاساس في تجهيز الطاقة لامتصاص الايونات . وبناء على

النتائج اعلاه فقد وضع Hodges (١٩٧٣) مخطط نظري يوضح كيفية امتصاص الايونات الموجبة والسالبة بواسطة الجذور كما في شكل (٢ ـ ٨).



شكل (٢ ـ ٨)
المخطط النظري الذي اقترحه Hodges (١٩٧٣) يوضح كيفية انتقال الايونات الموجبة والسالبة عبر غشاء البلازما في خلايا الجذور.

ان اساس هذه النظرية هو ان الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) وبفعل انزيمات الـ ATPase ينفصل الى الادينوسين ثنائي الفوسفات (ايون سالب الشحنة) وايونموجب الشحنة هوPhosphoryl Cation . ان الايون الموجب غير ثابت وسرعان مايتفاعل مع الماء ويحرر الهيدروجين كما في المعادلات التالية :

$$ATP \xrightarrow{ATPase} ADP^{-} \quad + [0 = P(OH)_2]^+$$

Adenosin diphosphate anion — Phosphoryl cation

$$[0 = P(OH)_2]^+ + HOH \rightarrow 0 = P(OH)_3 + H^+$$

Phosphoric acid

اذن فالنتيجة النهائية لتحلل الأدينوسين ثلاثي الفوسفات هو ايون الادينوسين ثنائي الفوسفات السالب الشحنة وايون الهيدروجين الموجب الشحنة . يضخ ايون الهيدروجين الى المحيط الخارجي وبذلك يحصل تدرج في درجة حموضة المحلول على جانبي الغشاء (ينخفض PH المحلول الخارجي) ونتيجة لذلك تحصل زيادة في تركيز الايونات السالبة في سايتوبلازم الخلية وبذلك ينشأ فرقا في الجهد الكهربائي بين المحلول والسايتوبلازم . وهذا ما وجد فعلا في الخلية الحية حيث ان سايتوبلازم خلايا الجذور مشحون بشحنة كهربائية سالبة وان الفرق في الجهد الكهربائي بين سايتوبلازم الخلية والمحيط الخارجي يتراوح بين ٦٠ الى ١٦٠ مليفولت . بما ان الخلية مشحونة بشحنة سالبة فانها تجذب الايونات الموجبة اليها وتستبدلها بايون الهيدروجين . هذا على افتراض ان غشاء الخلية نفاذ لمرور الايونات الموجبة وبذلك تنتشر الايونات الموجبة خلال الغشاء الخلوي الى سايتوبلازم الخلية .

في هذه النظرية لامتصاص الايونات افتراض ان الايون ادينوسين ثنائي الفوسفات سالب الشحنة -ADP والناتج من تحلل الادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) يسبب زيادة في تركيز ايون الهيدروكسيل داخل سايتوبلازم الخلية كما في المعادلة التالية :

$$ADP^{-} + HOH \rightarrow ADP + OH^{-}$$

ايون الهيدروكسيل المتحرر او ايون البيكربونات HCO_3^- سيكونان المحرك لحامل الايونات السالبة (Anion carrier) ويساعدان على الانتقالية للايونات السالبة من المحيط الخارجي حيث تتبادل معها كما في الشكل (٢ ــ ٨) .

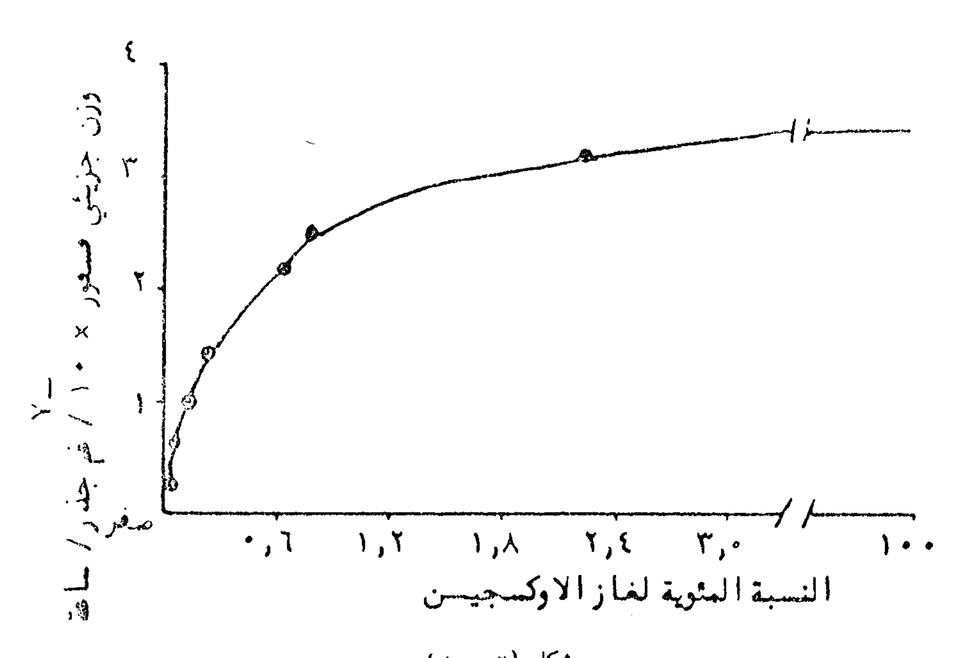
العوامل المؤثرة على امتصاص الايونات

ان الامتصاص النشط للايونات حساس لعدد كبير من العوامل الخارجية واهمها تلك التي تؤثر على توفير الطاقة كدرجة الحرارة والضوء وغاز ثاني اوكسيد

الكاربون والاوكسجين والمواد المثبطة للنمو ،وتلك التي تؤثر على النمو المتعلقة بتركيز ونوعية الايونات في المحيط الخارجي .

أولا : العوامل المؤثرة على توفر الطاقة

بصورة عامة يثبط الامتصاص النشط بقلة توفر الاوكسجين حيث لاحظ Hopkins (١٩٥٦) ان امتصاص الفسفور بواسطة جذور الشعير يزداد عندما يصبح تركيز الاوكسجين ٣٪ لكن زيادة تركيز الاوكسجين من ٣ الى ١٠٠٪ لم تحدث أي زيادة في امتصاص هذا العنصر علماً بأن الضغط الغازي تحت ظروف هذه التجربة كان ١ ضغط جوي (شكل ٢ ـ ٩) اما غاز (CO_2) فله تأثيرين الاول هو ان غيابه يسبب انخفاض كبير في عملية التمثيل الضوئي وبالتالي قلة توفر الطاقة مما ينمكس سلبياً على امتصاص الايونات والتأثير الثاني هو ان وجود هذا الغاز وكذلك ايونات البيكربونات (HCO_3^-) بتراكيز عالية في المحيط الخارجي تعمل على تثبيط امتصاص الايونات اضافة الى تأثيرها (CO_2) ، (HCO_3^-) المباشر على بعض العمليات الفسلجية في النبات .



شكل (٢ ـ ٩)

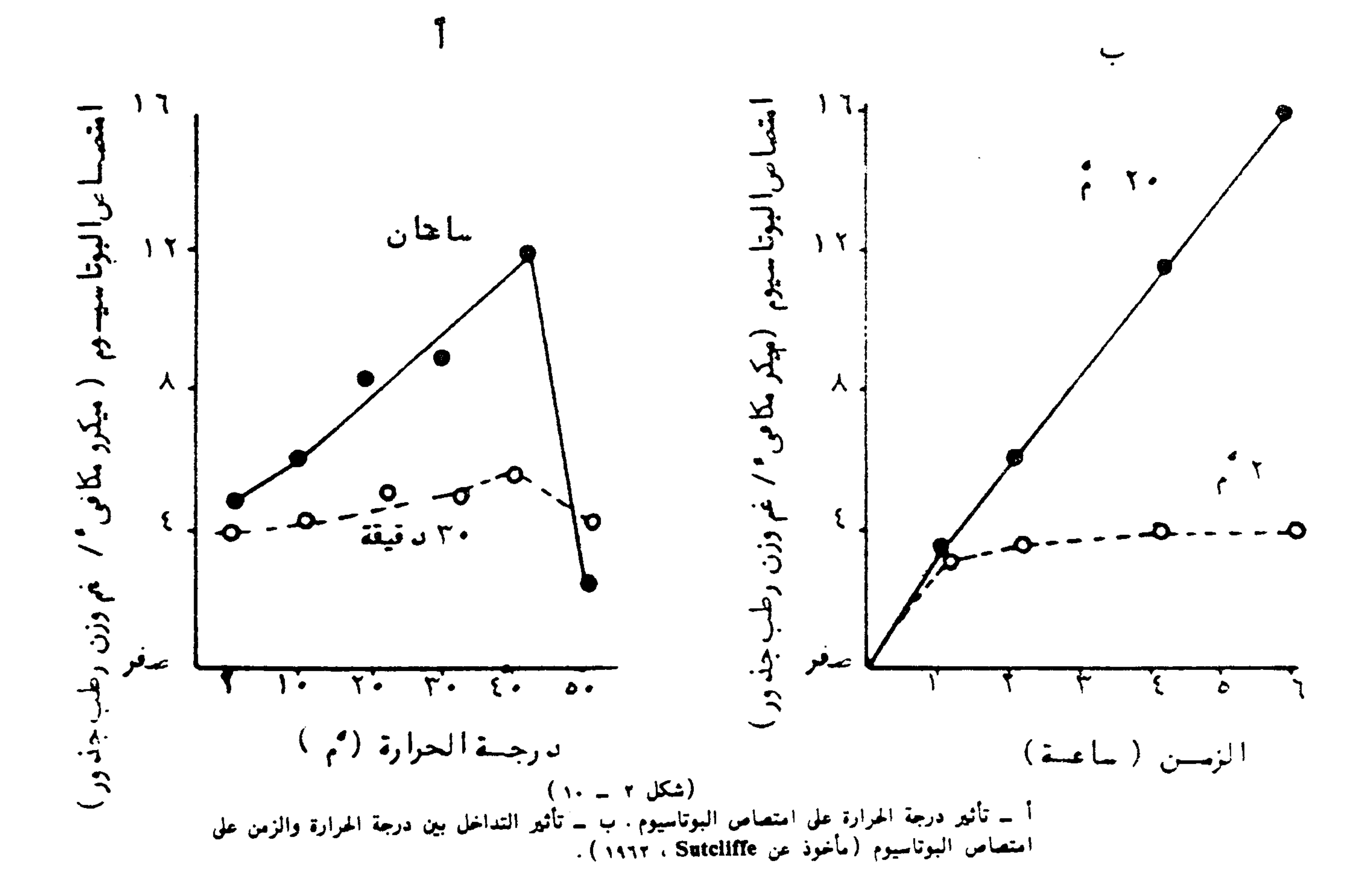
تأثير تركيز الاوكسجين على امتصاص الفسفور لجذور الشعير الموضوعة في محلول يحتوي على فسفور بتركيز ١ × ١٠^٤ وزن جزيئي عدد pH = ٤ (مأخوذ من Hopkins ، ١٩٥٦) .

لدرجة الحرارة تأثير كبير على امتصاص العناصر المعدنية حيث ان الامتصاص يتناسب طردياً مع ارتفاع درجات الحرارة الى حد ٤٠ م بعد ذلك يبدأ امتصاص الايونات ينخفض بسرعة كبيرة وذلك بسبب تحلل الانزيمات في درجات الحرارة المرتفعة . اضافة الى ذلك فإن نفاذية اغشية الخلايا تزداد بدرجة كبيرة في درجات الحرارة المرتفعة مما تسبب فقد الايونات من داخل الخلية الى المحيط الخارجي (شكل ٢ ـ ١٠ أ) اما في درجات الحرارة المنخفضة فإن امتصاص الايونات ينخفض ايضاً وذلك يعود الى الانخفاض في توفر الطاقة (انخفاض معدل التفاعلات الانزيمية في عملية التركيب الضوئي) اضافة الى الانخفاض في نفاذية اغشية الخلايا (شكل ٢ ـ ١٠ ب) ، الناتج عن زيادة لزوجة محتويات الخلية ومنها الاغشية . (Sutcliffe ، ١٩٦٢) .

للضوء تأثير مباشر على امتصاص الايونات فقد لوحظ انه في نباتات C_4 والتي يكون مصدر السكريات فيها من حامض رباعي الكاربون هو الماليت (malate) كما في نباتات الذرة الحلوة أو أن الضوء يسرع من امتصاص الكلور . في حين ان نباتات C_3 والتي يكون فيها مصدر السكريات من حامض الكليسريك المفسفر كما في نباتات السبانغ والفاصوليا فقد لوحظ ان وجود الضوء اما ان يشجع أو يثبط امتصاص الكلور (Luttge وآخرون ١٩٧١) . من ذلك امكن الاستنتاج بأن الطاقة المستخدمة لامتصاص الكلور في نباتات C_4 هي ليست من الادينوسين ثلاثي الفوسفات في حين في نباتات C_3 يحتاج امتصاص الكلور الى طاقة مصدرها الـ ATP . وقد ذكر Sutcliffe و Baker (١٩٨١) ان للضوء تأثير مباشر على امتصاص الكلور من قبل خلايا طحلب Nitella وذلك من خلال تأثيره على النظام الثاني في الفسفرة الضوئية (Photo-System II) في عملية التركيب الضوئي .

اما التأثيرات الاخرى للضوء فهي تأثيرات غير مباشرة فمثلا يساعد الضوء على زيادة امتصاص الايونات من خلال تجهيز الطاقة لهذه العملية بواسطة عملية التركيب الضوئي . كما لوحظ ان الاشعة فوق البنفسجية Ultra Violet تثبط امتصاص الايونات خصوصاً في الموجات الضوئية التي يمتصها الحامض النووي الرايبونيوكليك (RNA) وربما تسبب تسرب في الايونات ويعود ذلك الى تحلل المركبات الدهنية والبروتينية الداخلة في تركيب اغشية الخلايا .

بما ان الامتصاص النشط للايونات يعتمد على العمليات الحيوية في الخلايا فإنه ليس من المستغرب ان مثبطات العمليات الحيوية تسبب انخفاض في امتصاص الايونات . ومن مثبطات امتصاص الايونات تلك التي تثبط عملية التنفس مثل



(شكل ٢ ـ ١٠)
أ ـ تأثير درجة الحرارة على امتصاص البوتاسيوم . ب ـ تأثير التداخل بين درجة الحرارة والزمن على امتصاص البوتاسيوم (مأخوذ عن Sutcliffe ، ١٩٦٢) .

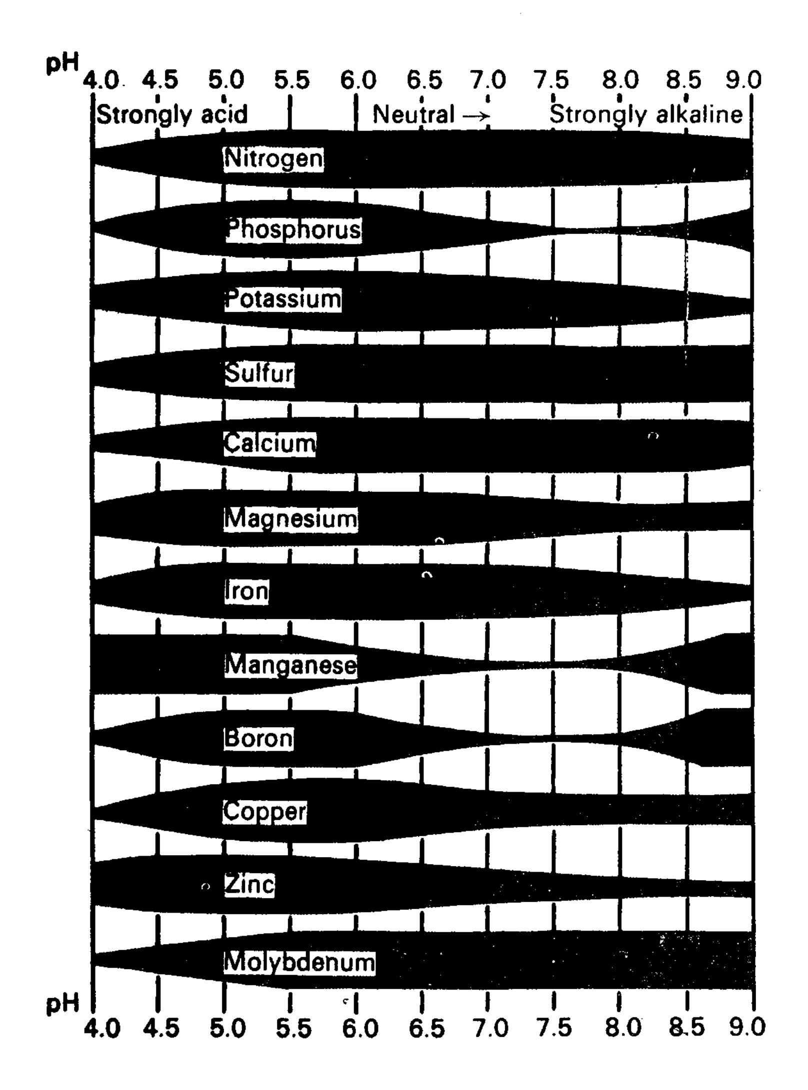
اول اوكسيد الكاربون من خلال تأثيره على سلسلة انتقال الالكترونات في ميكانيكية ومسار عملية التنفس . ان مركب الـ Dimitro Phenol (DNP) ايضاً يعتبر مثبط نمو من خلال تأثيره على الادينوسين ثلاثي الفوسفات . كما ان المواد المثبطة لتصنيع البروتينات مثل Cycloheximide و Chloramphenicol يمكنها ان تثبط امتصاص الايونات ايضاً .

ثانياً : العوامل المؤثرة على النمو

للنمو عدة تأثيرات على امتصاص الايونات حيث يصاحب النمو زيادة في انتاج الحوامل الناقلة للايونات (Carriers) وبذلك يزيد من امتصاص الايونات خصوصاً تلك الخلايا التي تصنع البروتينات . كما ان استطالة الخلايا تسبب زيادة في المساحة السطحية للخلايا وبالتالي زيادة في امتصاص الايونات . وعندما ينخفض معدل سرعة النمو فإن تركيز الايونات داخل الخلايا يرتفع وبذلك يتسبب في خفض معدل امتصاص الايونات المعدنية من خلال تأثيره المباشر على عملية الامتصاص (فرق التركيز) . ان المساحة السطحية لجدر الخلايا لها تأثير كبير على امتصاص الايونات والتناسب يكون طردياً . فمثلا في الخلايا الصغيرة الحديثة التكوين والتي يكون فيها نسبة مساحة السطح الى الحجم كبيره نسبياً فإن امتصاص الايونات نسبة الى وحدة الحجم ستكون كبيرة مقارنة بالخلايا الكبيرة (تلك التي حدثت استطالة فيها) . كما توجد علاقة طردية بين المساحة السطحية للجذور وامتصاص الايونات . من ذلك يتضح ان الزيادة في كمية الجذور بسبب النمو يصاحبها زيادة في المساحة السطحية للجذور وزيادة في عدد الخلايا وبالتالي زيادة في امتصاص الايونات .

ثالثاً : العوامل المتعلقة بنوعية وتركيز الايونات في المحيط الخارجي

لوحظ ان لتركيز الايونات داخل سايتوبلازم الخلية تأثير كبير على امتصاص الايونات وان امتصاص الايونات ينخفض عندما يرتفع تركيز الايونات داخل الخلايا . كما وجد ان النباتات النامية في محلول ذو تركيز منخفض من الاملاح لها القابلية على امتصاص الايونات اكثر من تلك النامية في محلول ذو تركيز مرتفع من الاملاح وقد اعزى ذلك الى ارتفاع المحتوى السكري في خلايا نباتات المحلول المنخفض التركيز من الاملاح اضافة الى تأثير الفرق في الجهد المائي(Water potential) اما درجة حموضة المحلول المغذي (pH) فلها تأثيرات مختلفة على امتصاص الايونات . حيث ان جاهزية العناصر المعدنية تتأثر كثيراً بدرجة حموضة المحلول في محيط الجذور كما في (الشكل ٢ ــ ١١) .



(شكل ٢ ـ ١١)

تأثير درجة حموضة التربة (pH) على جاهزية العناصر المعدنية (مأخوذ عن **Mengel** و **kirkby** ، ١٩٨٢).

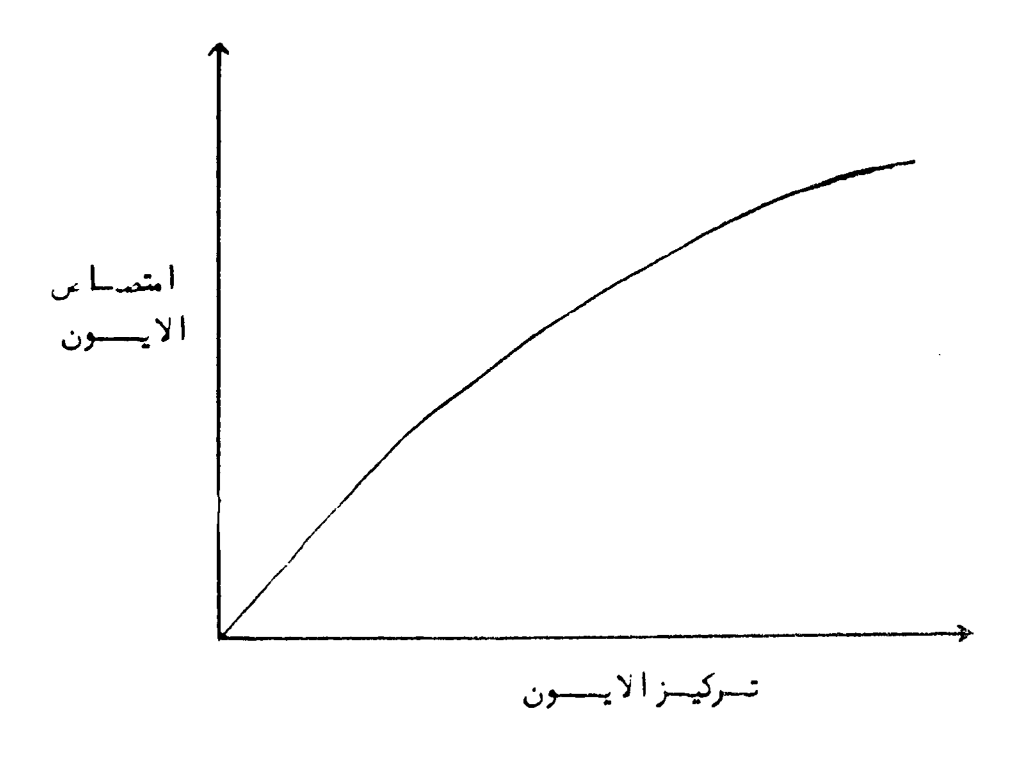
يتضح من الشكل (٢ ـ ١١) ان غالبية العناصر المعدنية تكون جاهزة في المحلول ذو pH ٦,٥ ـ ٧ وان رفع أو خفض الـ pH عن هذه الدرجة يسبب نقص لبعض العناصر المعدنية بسبب ترسيبها الى مركبات ذائبة وبالتالي غير جاهزة للامتصاص من قبل النبات . كما ان زيادة ذوبان بعض العناصر المعدنية قد تسبب

سمية كما في حالة الحديد والالمنيوم تحت ظروف الوسط الحامضي (pH منخفض) . اما التأثير المباشر لدرجة حموضة المحلول فقد لوحظ ان انخفاضها يسبب انخفاضاً كبيراً في امتصاص الايونات الموجبة ويعود ذلك الى التنافس بين هذه الايونات وايون الهيدروجين (H^+) على مواقع الامتصاص في الحوامل . اما في الـ pH المرتفع فإن ايونات الهيدروكسيل(OH^-)والبيكربونات(HCO_3^-)تتنافس مع الايونات السالبة في المحلول المغذي وبالتالي تقلل من امتصاصها كما ان امتصاص الايونات الموجبة يرتفع تحت ظروف الـ pH المرتفع ينتج عن ذلك اختلال في توازن الايونات الموجبة الى السالبة في السايتوبلازم وللمحافظة على التوازن تقوم الخلايا بانتاج (أو انتقال من اجزاء اخرى من النبات) احماض عضوية سالبة الشحنة حيث يستخدم ثاني اوكسيد الكاربون أو ايونات البيكربونات الموجودة في المحلول المغذي . اما في حالة الـ pH المرتفع أو المنخفض جداً فإن ميكانيكية امتصاص الايونات تتوقف وربما يعود ذلك الى تلف اغشية الخلايا .

اما تركيز الايونات في المحيط الخارجي وعلاقته بامتصاص الايونات فتأثيره مباشرة حيث ان امتصاص أي ايون يأخذ شكل المنحنى عند زيادة تركيزه كما في الشكل (٢ ـ ١٢) .

وان امتصاص اي ايون قد يتأثر بوجود ايون آخر في المحيط الخارجي وربما احسن مثال هو ماذكره Viets (١٩٤٤) عندما درس تأثير الكالسيوم على امتصاص البوتاسيوم والبروم حيث وجد ان امتصاص البوتاسيوم والبروم يزداد بزيادة الكالسيوم في المحلول لكن هذه العلاقة ليست مطلقة اي ان زيادة الكالسيوم عن مستوى معين سببت انخفاضا كبيرا في امتصاص البوتاسيوم . وقد عللت الزيادة في امتصاص البوتاسيوم والبروم بزيادة الكالسيوم الى احتياج خلايا النبات الى الكالسيوم في بناء اغشيتها وتقليل النفاذ الحر للايونات لكن الاستمرار بزيادة تركيز الكالسيوم ينتج عنه تنافس بين الكالسيوم والبوتاسيوم على الامتصاص وبالتالي يقل امتصاص الاخير كما في الشكل (٢ ـ ١٣) .

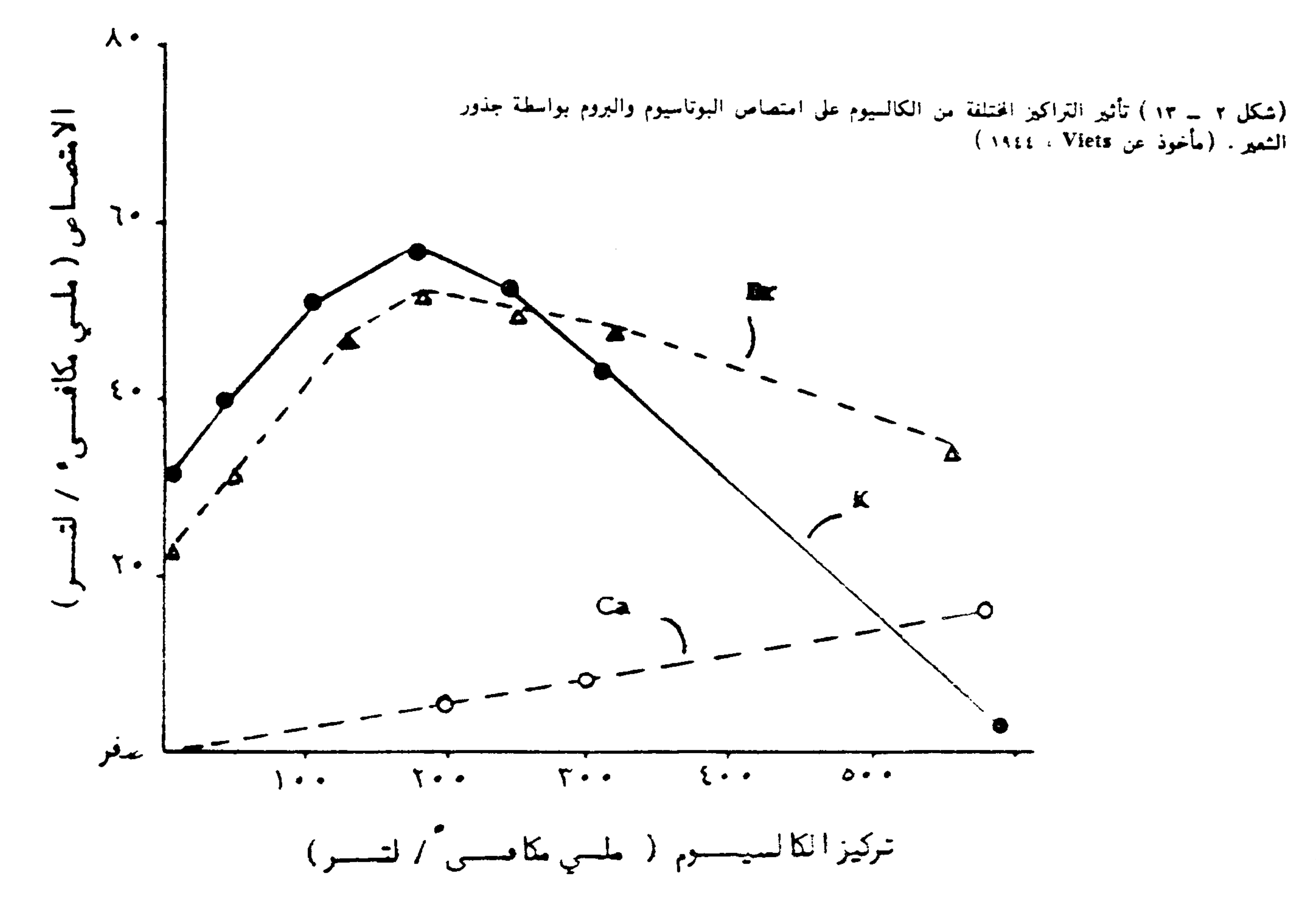
وفي تجربة اخرى اجراها Scharrer و Jung (١٩٥٥) لوحظ ان اضافة المغنيسيوم الى نباتات عباد الشمس تسبب في خفض امتصاص الصوديوم والكالسيوم ولكن مجموع الايونات الموجبة بقي ثابتا في كل المعاملات كما لوحظ من هذه التجربة ان ليس للمغنيسيوم تأثير على امتصاص البوتاسيوم . وبناء على ذلك استنتج ان زيادة تركيز اي ايون موجب يقلل من تركيز الايونات الموجبة الاخرى الممتصة بواسطة خلايا النبات وهذه العلاقة اطلق عليها بالتضاد **Antagonism**



(شكل ٢ ـ ١٢) العلاقة بين تركيز الايون ومعدل امتصاصه بواسطة الخلايا

وتوجد امثلة كثيرة على التضاد حيث ان زيادة تركيز احد الايونات الموجبة مثل الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+) والسيزيوم (Cs^+) والليثيوم (Li^+) والربيديوم (Rb^+) يقلل من امتصاص الايونات الاخرى .

وقد يعزى سبب ذلك الى التنافس بين هذه الايونات على مواقع الامتصاص في الحوامل الناقلة لها . كما لوحظ من جهة اخرى ان توفر الايونات السالبة والمهمة في العمليات الحيوية مثل النترات (NO_3^-) والفوسفات ($H_2PO_4^-$) غالبا ما تسبب زيادة في امتصاص ايونات اخرى وربما يكون ذلك من خلال تأثيرها على العمليات الحيوية في النبات اضافة لما تحدثه من فرق في الجهد الكهروكيمياوي وبالتالي حصول معدل امتصاص حر للايونات الموجبة او السالبة .



(شكل ٢ ـ ١٣) تأثير التراكيز المختلفة من الكالسيوم على امتصاص البوتاسيوم والبروم بواسطة جذور الشعير . (مأخوذ عن Viets ، ١٩٤٤)

امتصاص العناصر المعدنية عن طريق الاوراق

من المعروف ان عدداً ليس بالقليل من النباتات المائية تحصل على معظم احتياجاتها من العناصر المعدنية بواسطة اوراقها المغمورة في الماء . ان صفة امتصاص العناصر المعدنية من الاوراق هي ليست صفة النباتات المائية فقط وانما تشمل جميع النباتات من حيث قابليتها على امتصاص العناصر المعدنية المضافة الى اجزائها الهوائية . وهذه الصفة استثمرت في الزراعة الحديثة حيث استخدم التسميد عن طريق الاوراق بنجاح مع نباتات الاناناس وقصب السكر والحمضيات والعنب ونباتات الخضروات وبعض اشجار الغابات حيث يمكن ان يرش النتروجين على النباتات بتراكيز مخففة (٠,٥ الى ١ ٪) على هيئة يوريا ($CO(NH_2)_2$) وكذلك الفسفور والمغنيسيوم والكالسيوم والحديد المخلوب والعناصر المغذية الصغرى على اوراق النباتات فتمتصها وتستثمرها في نموها . انه من الضروري التأكيد على ان عملية التسميد عن طريق رش الاوراق بالاسمدة الذائبة في الماء هي ليست طريقة بديلة للتسميد عن طريق اضافة الاسمدة الى التربة وانما هي طريقة مكملة لتعويض نقص بعض العناصر خصوصا عندما يراد الحصول على نتائج سريعة (اي طريقة علاجية) . ومن الجدير بالذكر ان مواد كيمياوية اخرى تضاف للنبات عن طريق الاوراق مثل المبيدات الفطرية والحشرية والبكتيرية ومبيدات الادغال ومنظمات النمو والمضادات الحيوية وغيرها . وبصورة عامة تستخدم شرائح من اوراق النباتات لدراسة امتصاص العناصر المعدنية وقد استخدمت النظائر المشعة للمعادن لتقدير كمية الممتص والمنتقل من خلال الورقة الى اجزاء النبات الاخرى من هذه الايونات .

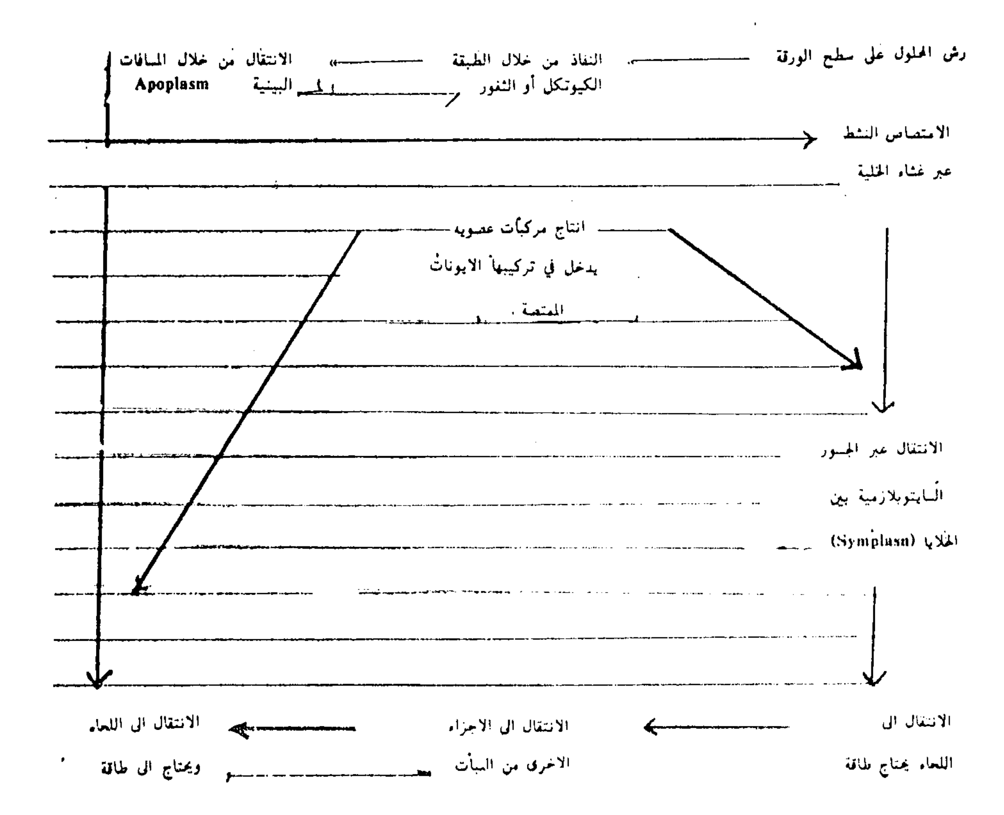
ان عملية دخول الايونات الى داخل الاوراق عملية معقدة مقارنة بالامتصاص بواسطة خلايا الجذور وذلك يعود الى ان بعض خلايا الاوراق التي تقوم بامتصاص الايونات تقوم بعملية التركيب الضوئي ايضا . اضافة الى ان عملية امتصاص الايونات بواسطة الاوراق تتأثر بحركة الايونات بين خلايا الورقة خصوصا ميكانيكية فتح وغلق الثغور وقد وجد Jacoby وآخرون (١٩٧٣) ان لهذا النظام انتقائية للبوتاسيوم والروبيديوم في حين لايفضل الصوديوم ويطرحه الى فجوة الخلية عبر غشاء الفجوة (Tonoplast) في حين في حالة الامتصاص بواسطة خلايا الجذور يطرح الصوديوم اما الى المحيط الخارجي او الى فجوة الخلية . وقد تركزت معظم البحوث على امتصاص الايونات بواسطة الخلايا الخضراء وذلك تحت ظروف الضوء والظلام والتنفس الهوائي واللاهوائي وذلك لمعرفة علاقة الطاقة وتوفرها بامتصاص الايونات . ونتائج هذه الدراسات اوضحت ان وجود الضوء يشجع الامتصاص تحت ظروف التنفس اللاهوائي (Johansen و Luttge ، ١٩٧٥) اما تحت ظروف التنفس الهوائي فقد يزداد (Jacoby وآخرون ١٩٧٣)

او لايزداد امتصاص الايونات (Johansen و Luttge ، ١٩٧٥) بوجود الضوء .

ان طرق نفاذية الايونات الى داخل الاوراق وانتقالها داخل الورقة قد تحصل باختراق طبقة الكيوتكل (Cuticle) الشمعية او من خلال الثغور او كليهما . لقد درست عملية اختراق الايونات لطبقة الكيوتكل بصورة مستفيضة ولوحظ انها الطريق الرئيس لمرور الايونات . فقد وجد ان الايونات تنفذ مباشرة من خلال هذه الطبقة او من المناطق ذات طبقة الكيوتكل خصوصا المحيط بالخلايا الحارسة . قد تضاف بعض المواد الناشرة مع المحلول السمادي لتقليل الشد السطحي لقطرات المحلول ومثالها Tween 20 ومسحوق الغسيل حيث ان ذلك يزيد الامتصاص عن طريق الثغور . توجد في خلايا الورقة ممرات ضيقة جدا تربط سايتوبلازم الخلايا اطلق عليها البلازموديزماتا (Plasmodesmata) وهذه الجسور السايتوبلازمية موجودة في جميع خلايا الانسجة الحية في النباتات وغالبا ماتمتد هذه الجسور الى طبقة خلايا البشرة في الورقة تحت طبقة الكيوتكل وحين ذاك تسمى Ectodesmata حيث تساعد هذه الممرات على انتقال المواد من والى الورقة .

تنفذ الايونات بدرجة اسرع في الاوراق الحديثة مقارنة بالاوراق الناضجة والقديمة وربما يعود ذلك الى الفرق في سمك طبقة الكيوتكل على بشرة الورقة حيث تكون هذه الطبقة خفيفة على الاوراق الحديثة (Goh و Haynes ١٩٧٧) . كما وجد Kannan (١٩٨٠) ان نفاذية الايونات تتأثر بعوامل عديدة اخرى اضافة الى سمك الكيوتكل مثل الضوء ودرجة الحرارة والرطوبة وبعض المواد الكيمياوية التي تؤثر على نفاذية طبقة الكيوتكل . وقد وجد ايضا ان عدد من منظمات النمو مثل حامض الجبريليك (GA_3) والكانتين (Kinetin) والأندول حامض الخليك (IAA) والبنزيل ادنين (BA) والمركب الفينوكسي (2,4-Dichlerophenoty Acetic Acid) وحـــامـــض الابسيســـك (ABA) والسايكوسيل (CCC) والنفثالين حامض الخليك (NAA) وغيرها اما ان تزيد من امتصاص الايونات او ان تشجع انتقال الايونات الممتصة باتجاه قاعدة الورقة (Kannan ، ١٩٨٠) . وبعد ان تدخل الايونات الى داخل الورقة فاما ان تنتقل من خلال المسافات البينية الى اللحاء الذي بدوره ينقلها الى اجزاء اخرى من النبات وقد تدخل الايونات الى داخل الخلايا عبر غشاء الخلوي حيث تستمر في بناء بعض المواد العضوية في تلك الخلايا (كالاحماض الامينية والنووية وغيرها) ثم تنتقل هذه الاحماض عبر الجسور السيتوبلازمية (Symplasm) الى الاوعية الناقلة في اللحاء .

ومن المعروف ان النتروجين والفسفور يدخلان في اللحاء بعد ان يدخلا في تركيب بعض المركبات العضوية كما ان حركة الكلور مشابهة لحركة النتروجين والفسفور في حين ان حركة الكالسيوم والمغنيسيوم تكون بواسطة المسافات البينية ثم تنفذ الى اللحاء . والشكل (٢ ـ ١٤) يوضح كيفية انتقال الايونات خلال انسجة الورقة .



(شكل ٢ ـ ١٤) مخطط يوضح طرق انتقال الايونات خلال طبقة الكيوتكل وانسجة الورقة (محور عن Haynes و Goh ، ١٩٧٧) .

References

1- Danielli, J.F. and Davson, H.A., A contribution to the theory of the permeability of thin films. Journal of Celluar Composition physiology 5: 495-508 (1935).

2- Elzam, O. E. Absorption of sodium, potassium and chloride by two species of Agropyron differing in salt tolerance. Ph. D. Thesis, University of California, Davis, USA (1966).

3- Epstein, E. Passive permeation and active transport of ions plant roots. Plant physiology 30: 529-535 (1955).

4- Epstein, E. Mutual effects of ions in their absorption by plants. Agrochimica 6: 293-322 (1962).

5- Epstein, E. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. P. 412. John Willey and Sons Inc., New Yourk (1972).

6- Epstein, E. and Hagen, C.E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. Plant Physiology 27: 457-474 (1952).

7- Etherton, B. and Higinbothan, N. Transmembrane potential measurements of cells of higher plants as related to salt uptake. Science 131: 409-410 (1960).

8- Fisher, J.D., Hansen, D. and Hodges, T.K. Corrolation between ion fluxes and ionstimulated adenosine triphosphatase activity of plant roots. Plant Physio logy 46: 812-814 1970).

9- Haynes, R.J. and Goh, K.M., Review on Physiological pathways of foliar absorption. Scientia Horticulturae 7: 291-302 (1977).

10- Higinbotham, N. Mineral absorption process in plants. The Botanical Review 39: 15-69 (1973).

11- Higinbotham, N., Etherton, B. and Foster, R.J. Effect of external K, NH_4, Na, Ca, Mg and H ions on the cell transmembrane electropotential of Avena coleoptile. Plant Physiology 34: 196-203 (1964).

12- Higinbotham, N., Etherton, B. and Foster, R.J. Mineral ion contents and cell transmembrane electropotentials of pea and eat seedling tissue. Plant Physiology 42: 37-46 (1967).

13- Hodges, T.K. Ion absorption by root. Advances in Agronomy 25: 163-207 (1973).

14- Hopkins, H.T., Absorption of ionic species of orthophosphate by

barley roots: effects of 2, 4- dinitrophenol and oxygen tension. Plant Physiology 31: 155-161 (1956).

15- Jacoby, B., Abas, S. and Steinitz, B. Rubidium and Potassium absorption by bean leaf slices compared to sodium absorption. Physiologia Plantarum 28: 209-214 (1973).

16- Johansen, C. and Luttge, U. A comparison of potassium and chloride uptake by **Tradescantia albiflora** leaf cells at different KCL concentrations. Australian Journal of Plant Physiology 2: 471-479 (1975).

17- Kannan, S., Mechanisms of foliar uptake of Plant nutrients: Accomplishments and prospects. Journal of Plant Nutrition 2: 717-735 (1980).

18- Laties, G.G. Dual mechansms of salt uptake in relation to compartmentation and long-distance transport. Annual Review of Plant Physiology 20: 89-116 (1969).

19- Leonard, R.T. and Hodges, T.K. Characterization of plasma membrane-associated adenosine triphosphatase activity of oat roots. Plant Physieloy 52: 6-12 (1973).

20- Luttge, U., Ball, E. and Von Willert, K. A comparative study of the coupling of ion uptake to light reactions in leaves of higher plant species having the C_3 and C_4-pathway of photosynthesis. Zeitschrift Fur Pflanzenphysiology 65; 336-350 (1971).

21- Macklon, A.E.S., and Sim, A., Electro-physiological factors in the influe nce of nitrate and ammonium ions on calcium uptake and translocation in tomato plants. Physiologia Plantarum 49: 449-454 (1980).

22- MacRobbie, E.A., Quantized fluxes of chloride to the vacuole of Nitella translucens. Journal of Experimental Botany 21: 335-344 (1970).

23- Mengel, K. and Kirkby, E.A., Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Berne, Switzerland (1982).

24- Osterhout, W.J.V., The absorption of electrolytes in large plant cells. The Botanical Review 2: 283-315 (1936).

25- Robertson, R.N., Protons, electrons, Phosphory lation, and active transport. Cambridge University Press (1968).

26-Scharrer, K. and Jung, J., The influence of nutrition on the cation / anion ratio in plants. Zeitschrift Fur fP/an Zenernahrung und Bodenkunde 71: 76-94 (1955).

27- Singer, S.J., A fluid lipid-globular protein mosaic model of membrane structure. Annual New York Acadimic Science 195: 16-23 (1972).

28- Spanswick, R.M. and Williams, E.J., Electrical Potentials and Na,K, and Cl Concentrations in the Vacuole and cytoplasm of **Nitella translucens.** Journal of Experimental Botany 15: 193-200 (1964).

29- Sutcliffe, J,F., Mineral salt absorption in plants. Pergamon Press Ltd. New York (1962).

30- Sutcliffe, J.F. and Baker, A.D. Plant and mineral salts. The institute of biology's studies in biology No. 10. 2nd ed. London, Edward Arnold, (1981).

31- Torii, K. and Laties, G.G. Dual mechanisms of ion uptake in relation to vacuolation. Plant Physiology 41: 863-870 (1966).

32- Viets, F.G. Jr., Calcium and other polyvalent cations as accelerators of ion accumulation by excised barley roots. Plant Physiology 19: 466-480 (1944).

33- Walker, N.A., The structure of biological membranes. P. 3-11. In: Luttge, U. and Pitman, M.G. Transport in Plants II, Part A cells. Encyclopedia of Plant Physiology. New Series, Vol. 2, Springer-Verlag, Berlin (1976).

34- Welch, R.M. and Epstein, E., The dual mechanisms of alkali cation absorption by plant cells: their paralle operation across the plasmalemma. Proceedings of the National Academy of Science 61: 447-453 (1968).

الفصل الثالث

حركة وانتقال العناصر المعدنية داخل انسجة النبات

المقدمة

لقد اصبح واضحاً الآن ان ايونات المعادن تمتص من قبل خلايا الجذور سواء كان الامتصاص حراً (سالب) او نشطاً . وبعد ان تمتص هذه الايونات من الضروري انتقالها الى المواقع الفعالة في النبات بهدف استثمارها في عمليات انقسام واستطالة الخلايا وبناء الانسجة وضمان استمرارية العمليات الحيوية . تنتقل الايونات الممتصة بواسطة خلايا الجذر الى اوعية الخشب فيه ثم الى المجموع الخضري فتوزع ويعاد توزيعها خلال انسجة النبات جميعها . فمثلا بعض ايونات المعادن التي وصلت الى الاوراق يمكن ان تخرج منها قبل تساقط الاوراق عند وصولها الى مرحلة الشيخوخة وتنتقل الى الاوراق الحديثة أو الى اجزاء النبات الاخرى ذات الفعاليات الحيوية العالية (المناطق المرستيمية) ومثال تلك الايونات هي النتروجين والبوتاسيوم والفسفور . في حين ان ايونات معادن اخرى تكون حركتها قليلة جداً أو معدومة حيث لاتنتقل خارج الاوراق التي دخلت مرحلة الشيخوخة كما هي الحال مع الكالسيوم والبورون . وهناك ايونات لعناصر معدنية ذات حركة متوسطة في النبات كما هو الحال مع المغنيسيوم والحديد . من الضروري التأكيد بأن تقسيم حركة الايونات خارج الاوراق المسنة هو على اساس قابليتها للتحرك في اللحاء وبذلك فان ظهور اعراض نقص العناصر المعدنية على النبات مرتبط الى حد ما بقابلية ذلك العنصر على الحركة في انسجة اللحاء .

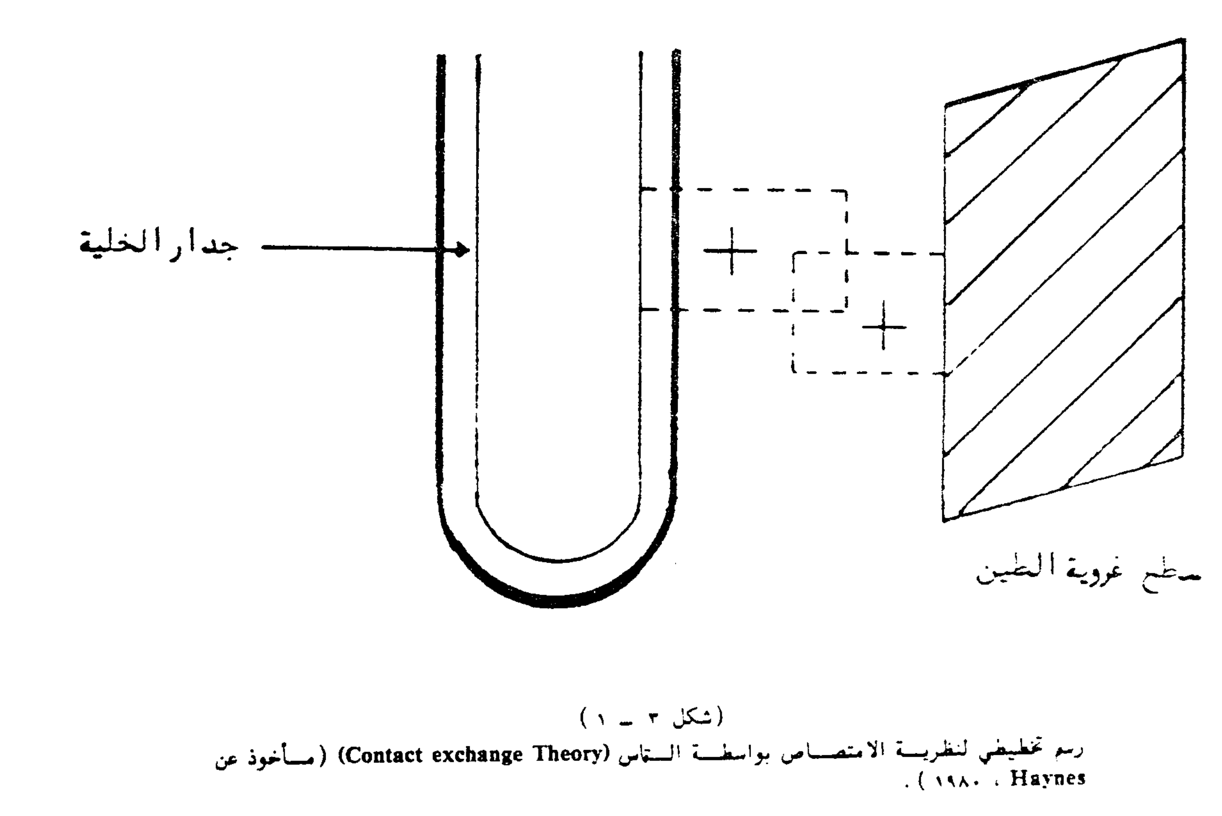
حركة الايونات في التربة نحو سطح الجذور

تنتقل الايونات في التربة الى سطح الجذور بطريقتين هما الانتشار (Diffusion) والانتقال الكتلي (Mass-flow) ان ما يقصد بالانتقال الكتلي للايونات هو حركة الايونات مع حركة الماء نحو الجذور كاستجابة لحاجة النباتات الناتحة . ويعتقد ان الماء الممتص من الترب الزراعية بواسطة النباتات يوفر معه كميات مناسبة من الكالسيوم والمغنيسيوم وعدد من العناصر المغذية الصغرى . ينطبق ذلك على الايونات اعلاه عندما تكون بتراكيز عالية في التربة وغير متحدة مع مركبات غير ذائبة وغير مدمصة بقوة على اسطح غرويات التربة . ويعتقد ان عدد من العناصر المعدنية تمتص من قبل النبات بكميات اكبر من الكميات التي تنتقل بها بواسطة الانتقال الكتلي وهذا مايحدث فعلا في الترب التي لاتضاف لها اسمدة . ينتج عن هذه الحالة انخفاض في تركيز الايونات قرب سطح الجذور مقارنة بتركيزها في محلول التربة ككل ونتيجة لتدرج التركيز تتحرك الايونات نحو سطح الجذور بعملية الانتشار . وعندما يكون امتصاص اي عنصر اسرع من معدل انتشاره تكون عملية الانتشار في هذه الحالة هي العامل المسيطر على امتصاص ذلك العنصر بواسطة النباتات . تتأثر عملية انتقال الايونات بالانتشار بعوامل التربة الكيمياوية والفيزياوية وتشمل هذه العوامل رطوبة التربة والكثافة الظاهرية للتربة والسعة التنظيمية للتربة (Soil Buffering Capacity) وتركيز العنصر (الايون) وميكانيكية الانتشار السائدة حسب ظروف التربة ودرجة الحرارة (Barker ، ١٩٧٤) . من الايونات التي درست فيها حالة الانتقال بواسطة الانتشار هي الفسفور والبوتاسيوم والكلور والزنك حيث ان الانتقال بالانتشار هو السائد لحركة تلك الايونات . وتحت مثل هذه الظروف (ظروف الانتقال بالانتشار) تكون نسبة المساحة السطحية للجذور الى حجمها (وزنها) عامل مهم جداً للتمبير عن قابلية الجذور على استثمار مخزون التربة من العناصر المعدنية . كما ان للشعيرات الجذرية (Root hairs) وهايفات الفطريات التعايشية (Mycorrhizal fungi) تأثير كبير في استثمار مخزون التربة من العناصر المعدنية . لقد وجد Drew و Nye (١٩٦٩) من خلال بعض تجاربهم ان امتصاص البوتاسيوم ازداد بمقدار ٧٠ ٪ بواسطة الشيلم المستديم **Lolium perenne** واعزى ذلك الى وجود الشعيرات الجذرية حيث اجريت التجربة في تربة فقيرة بالبوتاسيوم .

كما لوحظ من نتائج نفس التجربة ان امتصاص الفسفور ازداد بمقدار ضعفين الى ثلاثة اضعاف ماهو محسوب على اساس الانتقال بالانتشار الى سطح الجذور . وقد اقترح ان الشعيرات الجذرية تعمل على زيادة قطر الجذور وزيادة المساحة

السطحية الفعالة في الامتصاص مع صرف قليل من المادة الجافة لبناءها (الوزن الجاف للشميرات الجذرية صغير جداً مقارنة بالوزن الجاف للجذور ككل في حين ان فعاليتها في امتصاص الماء والمعادن عالية جداً) . وفي تجربة اجراها Bhat و Nye (١٩٧٤) على نباتات اللفت (الشلغم) **(Brassica napus)** الغزيرة الشميرات الجذرية مع نباتات البصل **(Allium cepa)** التي تحتوي على قليل من الشميرات الجذرية حيث تمت مقارنة هذين النباتين على اساس قابليتهما على امتصاص الفسفور . اوضحت النتائج ان نباتات اللفت امتصت ١٠,٥ × ١٠^٧ جزئي فسفور على مدى خمسة ايام في حين ان نباتات البصل امتصت ٠,٢٥ × ١٠^٧ جزيء فسفور لفترة زمنية سمح فيها لجذور هذه النباتات ان تنمو بنفس مقدار الجذور التي تمت في نباتات اللفت على مدى خمسة ايام . من ذلك يتضح ان ليس للوزن الجاف للجذور اهمية كبيرة للتعبير عن كفاءة المجموع الجذري في امتصاص العناصر المعدنية ما لم تؤخذ الصفات الاخرى مثل المساحة السطحية للجذور ونسبة المساحة السطحية للجذور/ حجم الجذور وعدد الشميرات الجذرية والاصابة بالفطريات التعايشية وغيرها . ان تركيز الايونات الذائبة في محلول التربة يشكل نسبة ضئيلة جدا من محتوى التربة لتلك الايونات حيث ان معظم ايونات المعادن الموجبة الشحنة تكون مدمصة على اسطح غرويات التربة والمادة العضوية . اما الايونات السالبة فيكون قسم منها ذائب في محلول التربة مثل النترات (NO_3^-) والكبريتات (SO_4^{2-}) والكلوريدات (Cl^-) في حين ان القسم الاخر يكون مثبت مثل الفوسفات (Po_4^{3-}) حيث ان الفوسفات المثبتة تمثل ١٠٠٠ ضعف الفوسفات الذائبة وربما اكثر من ذلك . تمتص النباتات الايونات السالبة مباشرة من محلول التربة في حين ان الايونات الموجبة اما ان تمتص مباشرة من محلول التربة او قد تمتص بعض الايونات بواسطة عملية التبادل المباشر بين الايونات المدمصة على اسطح الغرويات وتلك المدمصة على اسطح الجذور واطلق على عملية الامتصاص بهذه الطريقة بنظرية التبادل بالتماس (Contact exchange Theory) كما في الشكل (٣ ــ ١) .

ومفاد هذه النظرية ان الايونات الموجبة تنتقل من اسطح غرويات التربة الى سطح الجذور دون ان تتحرر اي دون الحاجة الى ذوبانها في الماء . حيث يعتقد ان الايونات في هذه الحالة تكون متقاربة بحيث يتداخل مدى ذبذبة حركتها وهذا التداخل يسبب انتقال واستبدال الايونات ببعضها (انظر الفصل الثاني) . تواجه هذه النظرية اعتراضات عديدة لذلك فقد اقترح طريق اخر لحصول عملية التبادل وهي ان ايون الهيدروجين يتبادل مع الايونات الموجبة المدمصة على اسطح غرويات التربة ويتحرر الايون الموجب الى محلول التربة ثم ينتقل بعملية الانتشار



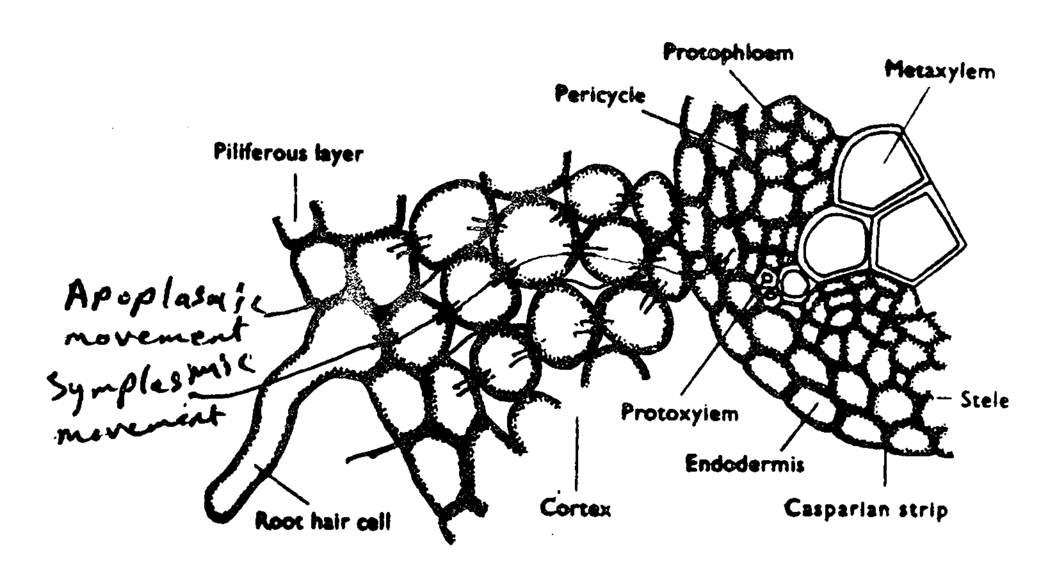
(شكل ٣ ـ ١)

رسم تخطيطي لنظرية الامتصاص بواسطة التماس (Contact exchange Theory) (مأخوذ عن Haynes ، ١٩٨٠).

(يسبب فرق التركيز) الى سطح الجذور ثم تتم عملية الامتصاص . اما مصدر ايونات الهيدروجين فيعتقد انه من حامض الكاربونيك الناتج من ذوبان غاز ثاني اوكسيد الكاربون (الناتج من عملية التنفس) في الماء . ان الامتصاص بعملية التبادل بالتماس سواء التبادل المباشر او التبادل مع ايون الهيدروجين تتأثر بدرجة حموضة التربة والمحتوى الرطوبي ونوع الايونات الموجبة المتبادلة .

حركة الايونات في الفراغات البينية للجذور :

ان عملية انتقال الايونات في المسافات البينية لخلايا القشرة والانسجة الاخرى دون ان تواجه حاجز غشائي تسمى الحركة الايوبلازمية (Apoplasmic movement) او الحركة الابوبلاستيكية (Apoplastic movement) . وتمثل الفراغات البينية حوالي ١٠ ٪ من حجم الجذور وهذا ماطلق عليه الفراغ الحر الظاهري (Apparent Free Space) (Robertson و Briggs ، ١٩٥٧) . وبناء على ذلك فان المحلول المغذي يمكنه ان يمر داخل انسجة الجذر الى الطبقة الداخلية دون حاجز حقيقي (شكل ٣ ـ ٢) .



(شكل ٣ ـ ٢)
مقطع عرضي في الجذر يوضح حركة الايونات بالابوبلازم Apoplasm والسيملازم Symplasm عبر انسجة الجذر المختلفة . (محور عن Sutcliffe و Baker ١٩٨١) .

ان عملية انتقال الايونات في المسافات البينية لخلايا البشرة والقشرة هو انتقال حر (Passive) . بعد ان تنتقل الايونات الى داخل خلايا الدائرة المحيطية تنتقل الى انسجة الجذر الداخلية (اللحاء والخشب) . قد يكون امتصاص الايونات الى سايتوبلازم خلايا الطبقة الداخلية حر او نشط اعتمادا على نوع العنصر والظروف السائدة وحاجة النبات وغيرها .

لصفات جدار الخلايا (Cell wall) تأثير كبير على امتصاص العناصر المعدنية بواسطة الجذور . وان السعة التبادلية للايونات الموجبة (Cation exchange capacity) ويرمز لها (CEC) تعود الى جذر الكاربوكسيل $(R-COO^-)$ الداخل في تركيب السليلوز ، الهميسليلوز (Hemicellulose) والمواد اللجنينية (Lignin) الداخلة في تركيب جدار الخلايا (Ledin و Wiklander ، ١٩٥٧) . ان ٧٠٪ — ٩٠٪ من السعة التبادلية للايونات الموجبة للجذور تعود الى مجموعة الكاربوكسيل الداخلة في تركيب الجذور . في حين وجد Drover (١٩٧٢) ان نسبة ماتمثله المواد البكتينية والسليلوزية والبروتينية من السعة التبادلية للايونات الموجبة تختلف باختلاف نوع النبات . يعتقد Daftardar و Savant (١٩٧١) ان صفة الـ CEC للجذور قابلية الانتخاب (Selectivity) للايونات حيث ان تركيز الايونات في انسجة اوراق النباتات هو نتيجة لعدد من العمليات الفسلجية المعقدة . في حين يعتقد Bowling (١٩٧٦) و Nye و Tinker (١٩٧٧) انه ليس لصفة الـ CEC للجذور قابلية الانتخاب وانما الانتخاب يتم في عملية الامتصاص النشط فقط بواسطة خلايا البشرة والقشرة والطبقة الداخلية . وقد ذكر Haynes (١٩٨٠) انه اذا كان لصفة الـ CEC للجذور القابلية على تنظيم تركيز الايونات في النبات اذن يجب ان يكون لهذه الصفة قابلية الانتخابية وخصوصا ان انتقال الايونات الى سطح الجذور يعتبر المرحلة الاولى للامتصاص . وقد استنتج Ledin و Wiklander (١٩٧٤) ان الايونات الموجبة للمعادن يمكنها استبدال ايون الهيدروجين من سطح الجذور وان عملية الاستبدال هذه تزداد بزيادة تركيز الايونات وعدد الشحنات حيث ان الايونات الثلاثية يمكنها ان تستبدل الايونات ثنائية الشحنة والاخيرة تستبدل الايونات احادية الشحنة ($^{1+}$ ايون < $^{2+}$ ايون < $^{3+}$ ايون) . كما ان عملية الاستبدال قد تحدث بين الايونات ذات الشحنة المتشابهة فمثلا يستبدل البوتاسيوم الصوديوم والصوديوم يستبدل الليثيوم $(K^+ > Na^+ > Ii^+)$ كما يستبدل الباريوم الكالسيوم والكالسيوم يستبدل المغنيسيوم $(Ba^{2+} > Ca^{2+} Mg^{2+})$ وان عملية الاستبدال هذه لن تتأثر بدرجة الحرارة بين ٠,٥ — ٢٠ م . وفي دراسة لمعرفة الانتخابية في صفة الـ CEC فقد وجد Wacquant (١٩٧٧) ان نباتات الحشائش (احادية الفلقة) لها CEC

منخفض مقارنة بنباتات ثنائية الفلقة . كما لاحظ انه كلما زادت قيمة الـ CEC فان نسبة الكالسيوم والمغنيسيوم المدمصة تزداد في حين ان نسبة المدمص من البوتاسيوم والصوديوم تنخفض ومن خلال علاقة الانحدار (Regression) بين الانتخابية والـ CEC تبين ان النباتات التي لها CEC مرتفع يكون ادمصاصها للكالسيوم والمغنيسيوم مرتفع ايضاً في حين ان النباتات التي يكون فيها الـ CEC منخفض يكون ادمصاص البوتاسيوم والصوديوم مرتفع مقارنة بالايونات ثنائية الشحنة . وهذا مايؤكد نتائج Mitsui و Ueda (١٩٦٣ أب) ان المحاصيل ذات الـ CEC المرتفع تمتص كميات كبيرة من الكالسيوم والمغنيسيوم في حين ان المحاصيل ذات الـ CEC المنخفض تمتص كميات كبيرة من البوتاسيوم . كما وجد Volz و Jacobson (١٩٧٤) ان امتصاص الكالسيوم كان مرتفع والبوتاسيوم منخفض بواسطة نباتات الباقلاء في حين كان العكس في نباتات الشعير وقد تفسر هذه النتائج ضعف منافسة البقوليات للنجيليات على امتصاص البوتاسيوم عند زراعتهم معا . وقد وجد Jensen و Bengtsson (١٩٨٢) ان جذور الخيار (فلقتين) تمتص الكالسيوم الى داخل الفراغات البينية بنسبة اكثر من جذور الشعير (فلقة واحدة) وقد اعزى ذلك الى وجود عدد كبير من الشحنات السالبة على جدر خلايا جذور الخيار مقارنة بالشعير (اي الـ CEC للخيار مرتفع) . وقد لوحظ ان السلالات المختلفة لنفس النوع من النباتات قد تختلف في صفة الـ CEC في الجذور حيث وجد Chamuah و Dey (١٩٨٢) ان جذور السلالات المختلفة من نبات الشاي لها CEC مختلف .

وللعوامل الخارجية تأثير على صفة الـ CEC في جذور النباتات حيث وجد Heimy و Elgabaly (١٩٥٨) ان الـ CEC لجذور الشعير يمكن زيادتها بزيادة تركيز النتروجين في المحلول المغذى او بأضافة مشجعات النمو (growth promoters) في حين تقل عند تقدم الجذر بالعمر او بأضافة مثبطات النمو (growth inhibitors) .

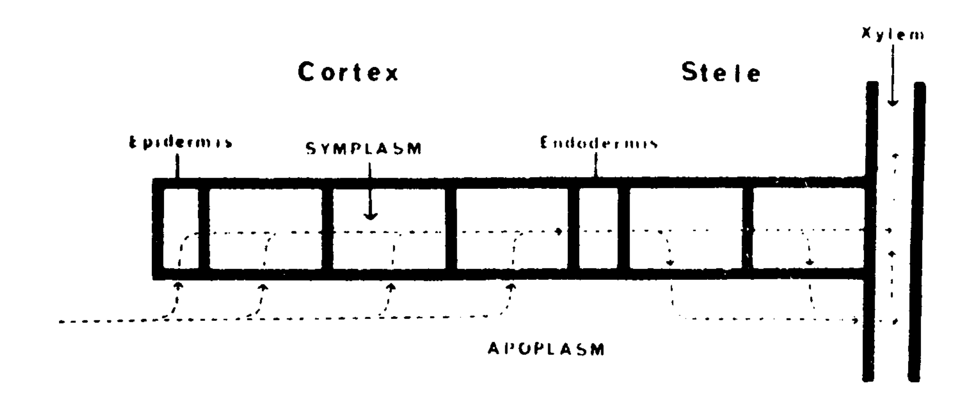
مما تقدم يمكن الاستنتاج بأن صفة الـ CEC للجذور مهمة في امتصاص الايونات الموجبة للعناصر المعدنية المهمة لنمو النباتات وربما يكون لهذه الصفة قابلية الانتخاب وتتأثر ببعض العوامل الداخلية والخارجية .

لجذور النباتات قابلية للتبادل الايوني للايونات السالبة الشحنة ايضا . فقد ذكر Lauchli (١٩٧٦) انه بعد مرور ٤٠ دقيقة من غسل الجذور بصورة متواصلة لوحظ ان هناك كمية من الكلور (Cl^-) ما تزال مرتبطة بجدار خلايا جذور الشعير . وقد اعزى ذلك الى وجود ايونات موجبة لمركبات عضوية داخلة في

تركيب جدر الخلايا مثل مجاميع الامين الحرة (Free amino groups) الموجودة في جزيئات البروتينات الموجودة في جدر الخلايا .

حركة الايونات داخل سايتوبلازم خلايا الجذر

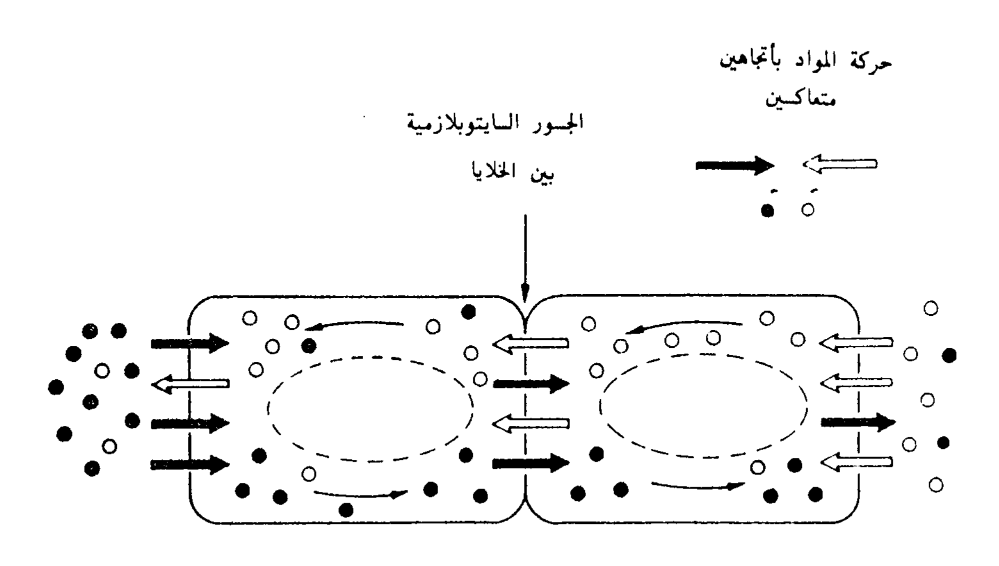
ان انتقال الايونات بواسطة سايتوبلازم الخلايا يسمى بالحركة السيمبلازمية (Symplasmic movement) أو الحركة السيمبلاستيكية (Symplastic movement) . حركة الايونات في الفراغات البينية (Apoplasmic movement) تتوقف عند البشرة الداخلية (Endodermis) وذلك بسبب وجود الطبقة المتثخنة (Casprian strip) بسبب تراكم مادة السيوبرين (شكل ٣ ــ ٣)



(شكل ٣ ــ ٣)
حركة الايونات من البشرة وخلال القشرة الى الطبقة الداخلية تتم بواسطة السيمبلازم (داخل سايتوبلازم الخلايا) والابوبلازم (في المسافات البينية للخلايا) . لكي تنقل الايونات نحو الاوعية الناقلة يجب ان تدخل الايونات الى سايتوبلازم خلايا الطبقة الداخلية (أي السيمبلازم) (مأخوذ عن Haynes ، ١٩٨٠) .

حيث ان من صفات هذه الطبقة انها غير نفاذة للماء ولكي تنقل الايونات الى داخل الدائرة المحيطية (خلايا اللحاء والخشب) يجب ان تنتقل من خلال سايتوبلازم الخلايا . ان اكتشاف الجسور الضيقة التي تربط سايتوبلازم الخلايا فيما بينها (Plasmodesmata) اعطى الاساس التشريحي لهذا الانتقال للايونات (Spanswick ، ١٩٧٦) . ويعتقد ان انتقال منتجات التمثيل الضوئي (مثل السكريات) من الدائرة المحيطية الى خلايا القشرة لتستخدمها في التنفس تتم بواسطة هذه الجسور وفي نفس الوقت تنقل ايونات العناصر المعدنية من المحيط

الخارجي الى الدائرة المحيطية ثم الاوعية الناقلة (اللحاء والخشب) . وقد لوحظ ان انتقال الايونات والمركبات العضوية بواسطة السيمبلازم يتم عن طريق الانتشار (فرق التركيز) بمساعدة الحركة الدورانية للسايتوبلازم (Cyclosis) أي ان المواد تنتقل بالاتجاهين (شكل ٣ ـ ٤) .



(شكل ٣ ـ ٤)
رسم تخطيطي يوضح حركة الايونات والمركبات العضوية خلال السايتوبلازم ويكون باتجاهين متعاكسين اعتماداً على التركيز والحركة الدورانية للسايتوبلازم . (محور عن Bidwell ، ١٩٧٩) .

وهناك مقترح آخر حول ميكانيكية انتقال الايونات بالسيمبلازم وهي ان هذه الايونات تدمص على اسطح حبيبات البروتينات السابحة في السايتوبلازم وتنتقل من خلية لاخرى . ومايؤكد دور الحركة الدورانية للسايتوبلازم في انتقال الايونات هو ان تثبيط الـ Cyclosis ينتج عنه تثبيط لانتقال الايونات ايضاً . وقد اقترح الباحثين عدة نظريات لشرح مرور الاملاح عبر الطبقة الداخلية ثم الى اللحاء والخشب الا ان اكثر النظريات قبولا هي التي تفترض وجود منحدر في تركيز الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون بين خلايا القشرة والاسطوانة الوعائية حيث ان تركيز الاوكسجين يكون مرتفع وثاني اوكسيد الكاربون منخفض في خلايا

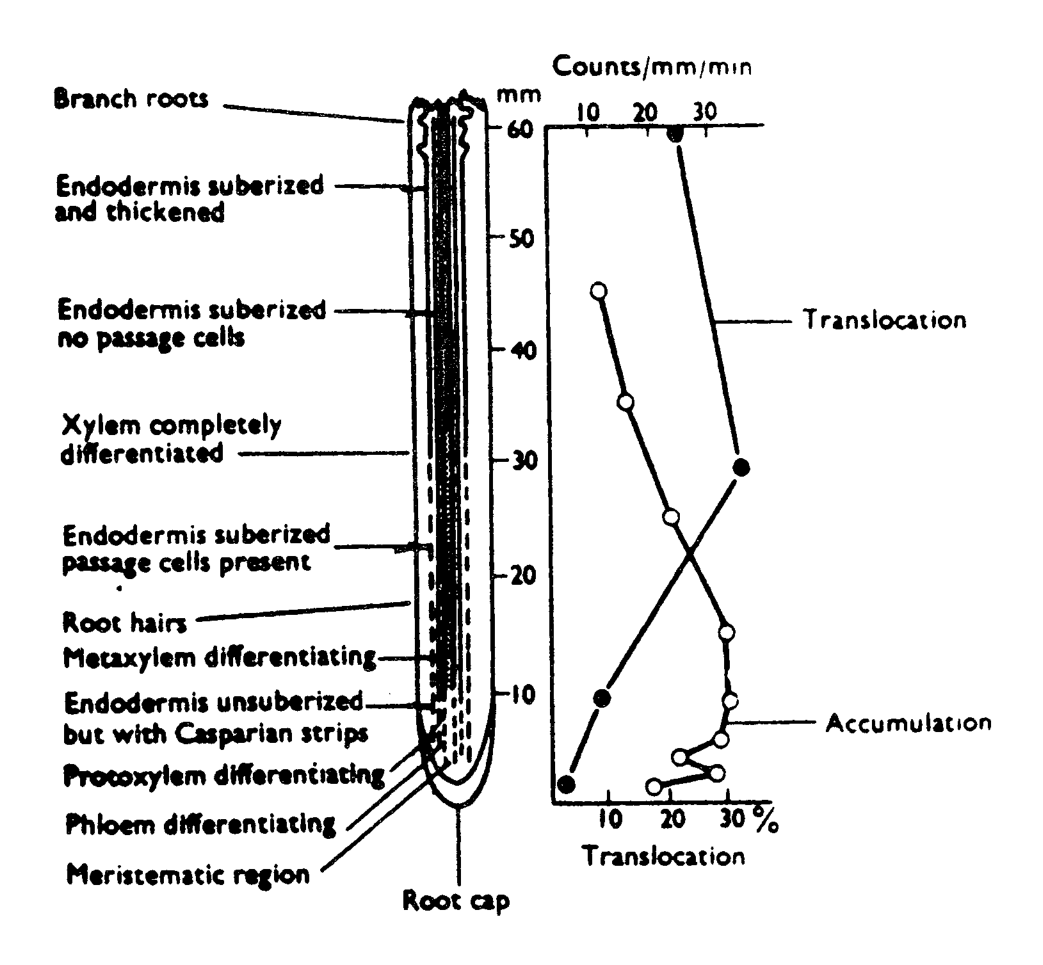
القشرة على النقيض ما هو موجود في خلايا الاسطوانة الوعائية . من ذلك يتضح ان الخلايا الموجودة بين القشرة والخشب هي خلايا ذات نشاط حيوي قليل وبالتالي تحبذ فقد الاملاح بعكس خلايا القشرة التي تصرف طاقة لتراكم الاملاح ضد منحدر التركيز . وبذلك فإن انتقال الاملاح يكون من خلايا القشرة باتجاه الخشب وان ما يمنع الانتشار المكسي هو وجود شريط كاسبر في الطبقة الداخلية . اثناء انتقال الايونات بواسطة السيمبلازم قد يحصل لقسم منها أن تنتقل عبر غشاء الفجوة (Tonoplast) في خلايا القشرة وبذلك تصبح هذه الايونات غير فعالة . وبناء على ذلك فإن من صفات الانتقال بالسيمبلازم انه منظم لتركيز الايونات في سايتوبلازم الخلية وله قابلية انتخابية في النقل للايونات عبر خلايا الطبقة الداخلية وبرنكيما الخشب الى اوعية الخشب (Baker ، ١٩٧٨) اوعية الخشب تحاط بخلايا الخشب الثانوي وهي خلايا حية تحتوي على السايتوبلازم وتسمى برنكيما الخشب . لهذه الخلايا اغشية متعرجة وهذه التعرجات تزيد من المساحة السطحية لانتقال الايونات (Lauchli وآخرون ، ١٩٧١) . وقد سمي Pate و Gunning (١٩٧٢) هذه الخلايا بالخلايا الناقلة (Transfer cells) . هذه الخلايا الناقلة وجدت في انواع عديدة من النباتات ويمكن ان تزداد عندما تتعرض النباتات الى نقص العناصر المعدنية (Kramer ، ١٩٨١) . وهناك وظيفة اخرى لهذه الخلايا هي قابليتها على خزن الايونات والسيطرة على تحريرها الى اوعية الخشب لكي تنتقل الى الاجزاء الخضرية بالنقل الكتلي وبتأثير عملية النتح (Bowling ، ١٩٨١) . ان ميكانيكية تحرر الايونات من خلايا الدائرة المحيطية (الاسطوانية الوعائية) الى اوعية الخشب غير معروفة لحد الآن وقد انقسم الباحثون الى فريقين حول ما اذا كان هذا التحرر للايونات من الخلايا الحية الى اوعية الخشب الميتة مسيطر عليه حيوياً اذ انه تحرر حر (سالب) . ان معظم الادلة تشير الى ان حركة الايونات من خلايا برنكيما الخشب الى اوعية الخشب تعتمد اساساً على فرق التركيز (Bowling ، ١٩٧٦) وبناء على ذلك فإن هذا الانتقال هو انطلاق حر (Passive release) ومن رواد هذه النظرية Crafts و Broyer (١٩٣٨) حيث افترض هذان الباحثان ان الايونات تنتقل عبر خلايا القشرة والبشرة الداخلية والدائرة المحيطية عن طريق السيمبلازم ثم تتسرب (leak) الى اوعية الخشب . وقد اكد هذان الباحثان ان نقص الاوكسجين في اوعية الخشب هو السبب في التحرر الحر للايونات الا ان Fiscus و Kramer (١٩٧٠) و Bowling (١٩٨٣) تمكنوا من قياس تركيز الاوكسجين في أوعية الخشب ووجدوا نقص بسيط في تركيزه مما لايمكن اعتباره السبب للانتقال الحر للايونات لذلك يعتقد Bowling (١٩٨١) ان هذا الانتقال للايونات من الخلايا الحية الى اوعية الخشب حتى لو كان انتقال حر فانه انتقال مسيطر عليه حيوياً .

لنمو الجذور ودرجة تخصص الانسجة فيها تأثير كبير على امتصاص وانتقال العناصر المعدنية (Barley ، ١٩٧٠) . وهناك اتجاهان لشرح امتصاص العناصر المعدنية بواسطة المجموع الجذري . فالاتجاه الاول يقترح ان امتصاص العناصر المعدنية على طول محور الجذر بنفس المعدل في حين ان الاتجاه الثاني يقترح ان امتصاص وانتقال العناصر المعدنية يتم في المناطق القريبة من قمم الجذور .

النتائج التجريبية على نباتات نميت في محلول مغذى توضح ان الحقيقة قد تقع بين هذين الاتجاهين . ومن خلال الدراسات التي اجريت في هذا المجال امكن استخدام تكنيك فصل جذر واحد من المجموع الجذري (يبقى متصل بالنبات) ودراسة فعالية المناطق المختلفة على طول محوره . وازدادات اهمية التكنيك باستعمال النظائر المشعة للعناصر المعدنية . ومن هذه الدراسات تلك التي اجريت على نباتات الشعير (Clarkson وآخرون ١٩٦٨ و Clarkson و Sanderson ، ١٩٧١) والذرة الصفراء (Ferguson و Clarkson ، ١٩٧٣) والقرع (Harison-Murray و Clarkson ، ١٩٧٣) والبزاليا (Grasmanis و Barley ، ١٩٦٩) وغيرها .

ان نتائج هذه الدراسات اوضحت ان قابلية امتصاص وانتقال العناصر المعدنية تختلف من منطقة لاخرى على المحور الجذري وربما يعود ذلك الى التغيرات الكيموحيوية والتشريحية التي تحصل في انسجة الجذور بتقدم العمر . وجد ان الفسفور والبوتاسيوم والامونيوم تمتص وتنتقل الى الاجزاء الاخرى من جميع مناطق محور الجذر في الشعير . حيث وجد ان مناطق تبعد حوالي ٥٠ سم من القمة النامية للجذر الاولي كانت لها قابلية على الامتصاص ونقل العناصر المعدنية والماء ماتزال عالية الا ان هناك دراسات عديدة حول دور الطبقة الداخلية (Enodermis) والتثخنات الثانوية التي تحصل في خلاياها في امتصاص وانتقال العناصر المعدنية . الدراسات اوضحت ان الانتقال للماء والعناصر المعدنية من خلال المسافات البينية لهذه الطبقة غير ممكن كما وجد ان خلايا هذه الطبقة ترتبط بخلايا القشرة وخلايا الدائرة المحيطية بعدد كبير جدا من الجسور السايتوبلازمية تسمح بمرور الماء والايونات بالسيمبلازم وهذه الجسور موجودة في خلايا الجذور المسنة والجذور الحديثة على السواء . وهناك ادلة من خلال دراسات اجريت على جذور نباتات خشبية Loblolly pine ان العديسات Lenticels والتشققات التي تحدث في الجذور (Fissures) ومناطق التفرعات الجذرية في المناطق المتفلنة على محور الجذر الرئيسي يمكنها ان تجهز

الدائرة المحيطية بكميات من الايونات والماء بواسطة الابوبلازم Apoplasim (Chung و Kramer ، ١٩٧٥) ويستخدم في مثل هذه الدراسات عادة عنصر اللانثيوم (La) (Thompson وآخرون ، ١٩٧٣) . (الشكل ٣ ــ ٥) يمثل المناطق المختلفة على محور الجذر وعلاقتها بامتصاص وانتقال العناصر المعدنية .



(شكل ٣ ــ ٥)

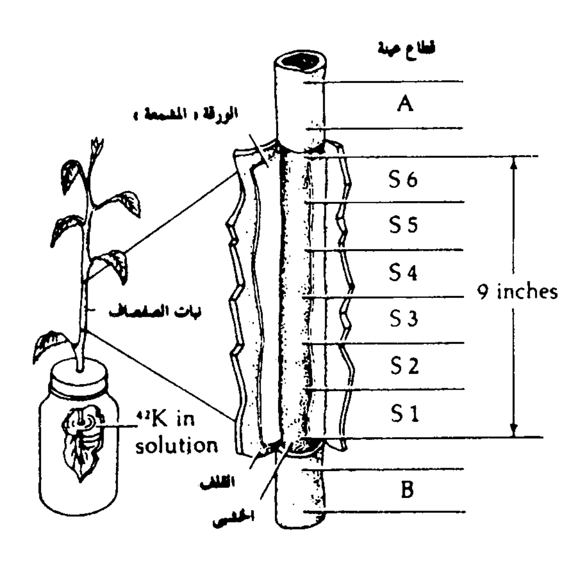
شكل تخطيطي يوضح العلاقة بين التركيب التشريحي لجذور الشعير وامتصاص وانتقال الفسفور . الخط البياني للانتقال Translocation يمثل النسبة المئوية للفسفور المشع ^{32}P المنتقل من المنطقة التي امتص فيها على طول محور الجذر . (مأخوذ عن Sutcliffe و Barker ، ١٩٨١) .

ان تكون طبقة الهيبوديرمس (Hypodermis) الناتجة عن تثخن جدران خلايا القشرة قد تصبح العائق الحقيقي لانتقال الايونات والماء وليس خلايا البشرة الداخلية المتفلنة . الا ان تفلن (تراكم السيوبرين) جدران الخلايا ربما لايكون سبب مقنع لتقليل نفاذية طبقة الهيبوديرمس للماء والايونات . فلقد وجد ان الخلايا المتفلنة في جذور البصل لاتبعد سوى ٤ سم عن قمة الجذر اي ان هذه الخلايا موجودة في المنطقة التي تعتبر من اكثر المناطق فعالية في امتصاص الماء والعناصر المعدنية . هذا التضارب والتفاوت في النتائج ربما يدعو الى الحاجة الى زيادة المعلومات حول تركيب وكيميوحيوية مادة السيوبرين تحت الظروف التي تقوم بمنع امتصاص وانتقال الماء والايونات . الايونات المختلفة لاتمتص بنفس المعدل في المناطق المختلفة على محور الجذر . فقد لوحظ من خلال الدراسات ان ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم يتم امتصاصها وانتقالها من المناطق القريبة من القمة النامية للجذر ومناطق تشقق واختفاء الطبقة الداخلية في مواقع التفرعات الجذرية (Bangerth ، ١٩٧٩) . حيث وجد Fergusom و Clarkson ، ١٩٧٥) ان الطبقة الداخلية المتفلنة تختفي في مواقع التفرعات الجذرية وهذا التغير في صفة خلايا الطبقة الداخلية يسمح باستمرارية انتقال الماء وايونات العناصر المعدنية وبضمنها الكالسيوم والمغنيسيوم بواسطة الابوبلازم حتى تصل الى الاوعية الناقلة في مركز الدائرة المحيطية . ومما يؤكد ذلك ان حركة الكالسيوم بالسيمبلازم محدودة جدا (Clarkson ، ١٩٧٩) لذلك لكي ينتقل الكالسيوم الى اوعية الخشب يجب ان ينتقل بواسطة الابوبلازم . اما الحديد فقد وجد انه يمتص من منطقة محدودة جدا من الجذر تلك هي منطقة استطالة الخلايا او الخلايا الناضجة في نباتات الشمير (Clarkson و Sanderson ، ١٩٧٨) .

انتقال الايونات لمسافات طويلة في النبات

لايوجد هناك ادنى شك في ان الايونات المتراكمة في خشب الجذر تنتقل الى قمة النبات في اوعية الخشب مع تيار النتح . وقد امكن اثبات ذلك بواسطة تجارب التحليق (Ringing او Girdling)) حيث انه عند ازالة حلقة كاملة من قلف الساق (البشرة + القشرة + اللحاء) لم تؤثر على انتقال الايونات وهذا مايؤكد ان انتقال الاملاح نحو قمة النبات لم تكن في نسيج القلف وانما في نسيج الخشب . هذا اضافة الى تجارب تحليل العصارة النباتية الموجودة في اوعية الخشب حيث وجد ان هذه العصارة تحتوي على كميات كبيرة من ايونات المعادن . وقد تمكن عدد من الباحثين ايجاد علاقة موجبة بين النتح وانتقال ايونات المعادن الى قمة النبات (Arnon وآخرون ، ١٩٤٠ و Sutcliffe ، ١٩٦٢) . لعل من اقدم

التجارب التي اثبتت بشكل قاطع ان ايونات المعادن من الجذر الى قمة النبات تكون بواسطة اوعية الخشب هي تلك التي قام بها Stout و Hoagland (١٩٣٩) فقد تمكن هذان الباحثان فصل القلف عن الخشب بعناية تامة وبطول ٩ انجات على امتداد طول الساق في نبات الصفصاف (Willow) ثم وضعت قطعة من الورق المدهون بالشمع بين الخشب واللحاء بهدف منع الانتقال الجانبي للايونات . وضعت هذه النباتات في محلول مغذى يحتوي على البوتاسيوم المشع (^{42}K) لمدة خمس ساعات ثم اخذت قطاعات عرضية من هذا الساق شملت المنطقة التي فصل فيها القلف عن الساق وتلك التي بقيت سليمة . حللت هذه المناطق لمعرفة محتواها من البوتاسيوم المشع (شكل ٣ ــ ٦) .



(شكل ٣ ــ ٦) طريقة لدراسة انتقال الاملاح الى الاعلى والانتقال الجانبي . تم فصل قلف نبات الصفصاف باستخدام ورق مشمع وضعت في محلول يحتوي على البوتاسيوم المشع ^{42}K لمدة ٥ ساعات . (مأخوذ عن Stout و Hoagland ، ١٩٣٩) .

النتائج في جدول (٣ ــ ١) تشير الى ان البوتاسيوم انتقل في نسيج الخشب فقط في المنطقة التي فصل فيها القلف عن الخشب اما في المنطقة السليمة فقد لوحظ وجود انتقال جانبي بين الخشب واللحاء لهذا الايون . وبالرغم من وجود كمية من البوتاسيوم المشع في نسيج القلف المفصول الا ان ذلك لايمثل سوى اقل من ١ ٪ من كمية البوتاسيوم المنتقل بالخشب .

جدول (٣ ــ ١)

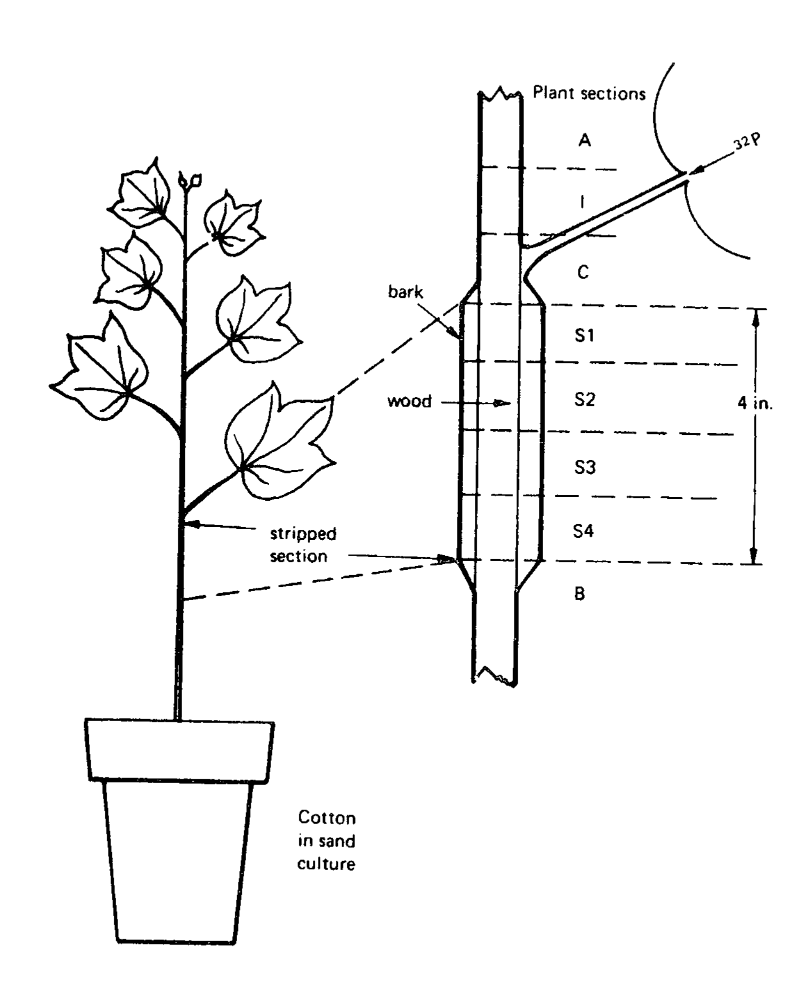
انتقال وتوزيع البوتاسيوم المشع (^{42}K) في المقاطع المأخوذة من ساق نبات الصفصاف (Salix lasinndra) بعد تغذيتها بمحلول مغذي يحتوي على البوتاسيوم المشع لمدة خمس ساعات (عن Hoagland, Stout ١٩٣٩).

العينة ورقمها (المقطع)	كمية البوتاسيوم المشع (^{42}K) في كل مقطع (جزء في المليون) نباتات فصل فيها القلف عن الخشب: القلف	الخشب	نباتات سليمة (مقارنة): القلف	الخشب
A	٥٣,-	٤٧	٦٤	٥٦
S_6	١١,٦	١١٩		
S_5	٠,٩	١٢٢		
S_4	٠,٧	١١٢	٨٧	٦٩
S_3	٠,٣	٩٨		
	٠,٣	١٠٨		
S_1	٢٠,-	١١٣		
B	٨٤,-	٥٨	٧٤	٦٧

اما الانتقال في نسيج اللحاء فقد امكن اثباته تجريبياً من قبل الباحثين Biddulph و Markle (١٩٤٤) حيث حقن الفسفور المشع (^{32}P) الى عنق ورقة نبات القطن تقع فوق المنطقة التي فصل فيها القلف عن الخشب وامكن متابعة حركة الفسفور المشع (شكل ٣ ــ ٧). النتائج في جدول (٣ ــ ٢) توضح ان الفسفور انتقل في نسيج اللحاء نحو الاسفل كما ان هناك انتقال جانبي بين الخشب واللحاء حصل في المنطقة التي لم يفصل فيها القلف عن الخشب.

انتقال الايونات في اوعية الخشب

بمجرد ان تدخل الايونات الى اوعية الخشب في الجذور تنتقل الى الاعلى بتأثير تيار النتح. وقد اجريت عدة دراسات لايجاد العلاقة بين امتصاص الماء



(شكل ٣ ـ ٧) طريقة لدراسة انتقال الاملاح نحو الاسفل في اللحاء . استخدم في هذه التجربة الفسفور المشع ^{32}P حيث حقن في المنطقة من الساق اعلى منطقة فصل القلف عن الخشب وتمت متابعة حركته نحو الاعلى والاسفل . (ماخوذ عن Biddulph و Markle ، ١٩٤٤) .

وامتصاص الايونات . وقد ذكر Sutcliffe (١٩٧٦) انه بالرغم من نتائج تلك الدراسات اوضحت ان زيادة امتصاص الماء سببت زيادة في امتصاص العناصر المعدنية لكن هناك عدد كبير من الباحثين لم يتمكنوا من تمثيل تلك العلاقة كمياً . وكما لوحظ من تجارب Stout و Hoagland (١٩٣٩) انه كلما انتقل الماء والعناصر المعدنية لحو قمة النبات يحصل انتقال جانبي الى انسجة اللحاء كما يحصل انتقال جانبي الى الاوراق السفلى ثم الوسطى ثم العليا وهكذا وذلك بسبب السحب الذي تحدثه على العصارة النباتية الصاعدة (النسغ الصاعد) بفعل عملية النتح التي

جدول (٣ ـ ٢)

انتقال وتوزيع الفسفور المشع (^{32}P) في مقاطع ساق نبات القطن بعد ساعة واحدة من حقن الفسفور ($^{32}PO_4$) الى عنق الورقة . (مأخوذ عن **Biddulph** و**Markle** ، ١٩٤٤) .

العينة ورقمها (المقطع)	كمية الفسفور ($^{32}PO_4$) في كل مقطع (مايكروغرام)			
	نباتات فصل فيها القلف عن الخشب		نباتات سليمة (مقارنة	
	القلف	الخشب	القلف	الخشب
A	١,١١			
I	٠,٤٥٨	٠,١٠٠	٠,٤٤٤	
C	٠,٦١٠			
S_1	١,٥٤٤	٠,٠٦٤	٠,١٦٠	٠,٠٥٥
S_2	٠,٣٣٢	٠,٠٠٤	٠,١٠٣	٠,٥٦٣
S_3	٠,٥٩٢	٠,٠٠٠	٠,٠٥٥	٠,٠١٨
S_4	٠,٢٢٨	٠,٠٠٤	٠,٠٢٦	٠,٠٠٧
B	٠,٦٥٣		٠,١٥٢	

تقوم بها تلك الاوراق . لذلك يتخفف تركيز محلول النسغ الصاعد كلما انتقل نحو قمة النبات . كما ان هناك دلائل تشير الى ان الخلايا القديمة في الجذور المتفلتة والخلايا المتاخمة الى اوعية الخشب في الساق والاغصان واعناق الاوراق وحوامل الثمار (برنكيما الخشب) لها القابلية على استقطاب الايونات مع النسغ الصاعد وذلك بعملية الانتقال النشط (Active) وهذا الانتقال انتقائي (Selective) ايضاً (Epstein ، ١٩٧٢) . ولاثبات الانتقائية في هذه العملية قام Jacoby (١٩٦٥) بدراسة استخدم فيها مقاطع من ساق نبات الفاصولياء بطول ٨ سم حيث وضع هذه المقاطع في محلول كلوريد الصوديوم (NaCl) بتركيز ١ ملي جزيء ولمدة ٢٠٠ دقيقة . نتائج هذه التجربة اوضحت ان المحلول المنتقل خلال هذه المقاطع من السيقان والذي امكن جمعه من قمة المقاطع انه يحتوي على تركيز منخفض من الصوديوم (Na^+) حيث لم يصل تركيز هذا الايون الى اكثر من ١ ٪ من تركيزه في المحلول

(اي $\frac{1}{100}$ من الملي جزي) . كما لوحظ ان المثبطات الحيوية تؤثر على هذه الانتقائية مما حدى بالباحث للاستنتاج من ان عملية انتقال هذه الايونات تتم بالانتقال النشط . كما ان هناك انتقال جانبي بين الخشب واللحاء عبر الكامبيوم لذلك فقد اقترح Pate و Gunning (١٩٧٢) ان نسيج الكامبيوم له دور فعال في تنظيم كمية الايونات المنتقلة في محلول النسغ الصاعد .

السؤال هو هل ان جميع الايونات في محلول النسغ الصاعد تنتقل بنفس السرعة (اي بواسطة الانتقال الكتلي) هذا مالم يثبت بعد . هناك ادلة تشير الى ان الايونات الموجبة لاتنتقل في اوعية الخشب بنفس سرعة انتقال الماء وقد اعزى ذلك الى ان سطوح الجدران الداخلية لاوعية الخشب تكون مشحونة بالشحنات السالبة وبذلك فلها القابلية على جذب الايونات الموجبة وخصوصاً تلك التي تحمل شحنتين موجبتين مثل المغنيسيوم (Mg^{2+}) والكالسيوم (Ca^{2+}) او اكثر من ذلك . وهذه الايونات المدمصة على جدران اوعية الخشب لايمكن ان تنتقل مع تيار النتح ما لم تحل محلها ايونات مماثلة لها أو ايونات موجبة اخرى وتتحرر الاولى الى محلول النسغ الصاعد لتنتقل الى مكان اخر نحو قمة النبات . وقد وجد Bell و Biddulph (١٩٦٣) ان حركة الكالسيوم المشع ($^{45}Ca^{2+}$) في سيقان نبات الفاصولياء لم تكن بواسطة الانتقال الكتلي فقط وانما بسلسلة من التبادل والاحلال بين الايونات المدمصة والايونات الحرة الذائبة في محلول النسغ الصاعد . وقد وجد ايضاً ان سرعة انتقال الكالسيوم تزداد عندما تضاف ايونات موجبة ثنائية الشحنة حيث تتنافس مع الكالسيوم على مواقع الادمصاص . لذلك فان زيادة تركيز الايونات الموجبة الاخرى تزيد من سرعة انتقال الكالسيوم في محلول النسغ الصاعد (Hanger ، ١٩٧٩) . وقد ذكر Epstein (١٩٧٢) ان الكالسيوم المشع المدمص على جدران اوعية الخشب امكن تحريره الى محلول النسغ الصاعد باضافة كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ يحتوي على كالسيوم غير مشع أو كلوريد السترونتيوم ($SrCl_2$) أو كلوريد المغنيسيوم ($MgCl_2$) في حين لوحظ ان اضافة كلوريد البوتاسيوم KCl لم تؤثر على حركة الكالسيوم المشع وقد اعزى ذلك الى ان الايونات ذات الشحنة الموجبة الاحادية تكون اقل انجذاباً لمواقع الادمصاص على اسطح جدران اوعية الخشب مقارنة بالايونات الموجبة ثنائية الشحنة . من ذلك يمكن الاستنتاج ان انتقال الايونات الموجبة ثنائية الشحنة اقل حرية من انتقال الايونات التي تحمل شحنة موجبة احادية في محلول النسغ الصاعد . كما لوحظ ان الايونات المدمصة على اسطح جدران اوعية الخشب تتأثر باضافة بعض منظمات النمو حيث وجد ان اضافة حامض الجبريليك (CA_3) ساعد على زيادة حركة الكالسيوم في اوعية الخشب مما تسبب في ظهور اعراض نقص هذا العنصر في

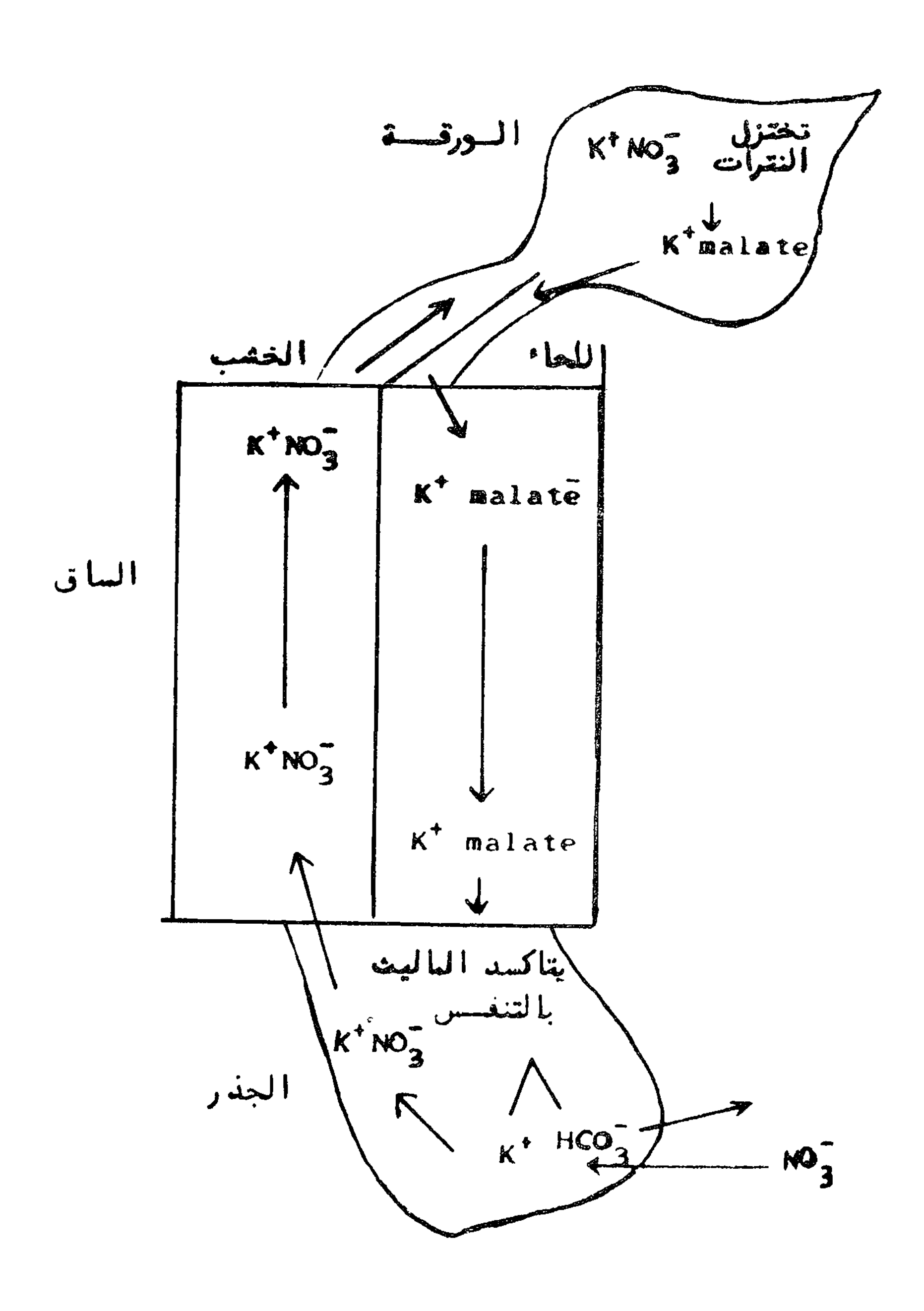
الاجزاء المعاملة بهذا الحامض (Wieneke وآخرون ، ١٩٧١) في حين ان اضافة السايتوكاينينات لاشجار التفاح تسبب في زيادة حركة الكالسيوم باتجاه الاوراق الناضجة (Shear و Faust ، ١٩٧٠) .

انتقال الايونات في اوعية اللحاء

لقد اجريت عدة تجارب لدراسة حركة ايونات المعادن في اللحاء . لقد اضاف Bukovac و Wittwer (١٩٥٧) نظائر مشعة لعدة ايونات الى الاوراق ولاحظا ان الايونات المختلفة تختلف في حركتها وانتقالها في اللحاء (النسغ النازل) . فمثلا وجد ان الربيديوم (Rb) والصوديوم والبوتاسيوم والفسفور والكبريت والكلور والمغنيسيوم انتقلت بسرعة الى كافة اجزاء النبات في حين ان الكالسيوم والباريوم والليثيوم والسترونتيوم والبورون لم يتحركوا خارج الورقة المعاملة اما بقية الايونات وتشمل الحديد والمنغنيز والزنك والنحاس والموليبدنم فحركتها كانت متوسطة بين هذين المدين . كما وجد Greenway و Pitman (١٩٦٥) ان البوتاسيوم انتقل من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة في نباتات الشعير مما يؤكد حركة هذا العنصر في نسيج اللحاء .

وقد اقترح Lips وآخرون (١٩٧١) ان ايونات البوتاسيوم تكون بشكل حامل لنقل النترات من الجذور الى النموات الخضرية على هيئة $K^+NO_3^-$ كما ينتقل البوتاسيوم الماليث Malate من الاوراق الى الجذور بواسطة اللحاء على هيئة $K^+Malate^-$ حيث يتأكسد الماليث في الجذور بعملية التنفس وينتج HCO_3^- الذي يتبادل مع النترات في محلول التربة وبذلك تمتص النترات (NO_3^-) وتتحد مع البوتاسيوم المتحرر بعد اكسدة الماليث وتنتقل الى الاوراق وهكذا تتم عملية دوران البوتاسيوم (شكل ٣ ـ ٨) .

وحديثاً تمكن Armstrong و Kirkby (١٩٧٩) من حساب كمية البوتاسيوم المنتقل في لحاء نباتات الطماطة حيث وجد ان ٣٥٪ من البوتاسيوم الموجود في الاوراق هي في دوران مستمر في النبات من خلال انتقاله في الخشب واللحاء . هذه الدراسات تعطي الدليل الواضح والاكيد ان البوتاسيوم بحركة مستمرة داخل النبات لذلك من المتوقع ان ينتقل قسم من البوتاسيوم الموجود في الاوراق القديمة والتي دخلت مرحلة الشيخوخة الى الاوراق الحديثة والمناطق المرستيمية في النبات ويتم هذا الانتقال بواسطة اللحاء . كما وجد Steucek و Koontz (١٩٧٠) ان المغنيسيوم سريع الحركة في اللحاء ايضاً . لذلك عندما يكون تجهيز النبات بهذين العنصرين غير كافي فانها ينتقلان من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة وبذلك



(شكل ٣ ـ ٨)
المخطط المقترح لانتقال البوتاسيوم من الجذور للاوراق ومن الاوراق الى الجذور (محور عن Lips وآخرون ، ١٩٧١).

تظهر اعراض نقصها اولا على الاوراق القديمة . اما ايونات العناصر الغير متحركة فهناك دراسات عديدة تشير الى ان اعادة انتقال الكالسيوم من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة قليل جدا وقد اعزى ذلك الى عدم قابلية هذا العنصر للانتقال في انسجة اللحاء . الا ان السبب الحقيقي لعدم قابلية هذا العنصر للانتقال باللحاء غير معروف وقد اقترحت عدة اسباب منها ومن نتائج الابحاث التي استخدم فيها النظير المشع للكالسيوم لوحظ ان هذا العنصر ينتقل الى انسجة اللحاء لكنه لاينتقل في هذا النسيج (Hanger ، ١٩٧٩) . ويمتقد Van Goor و Wiersma (١٩٧٤) ان فشل الكالسيوم للانتقال باللحاء يعود الى ان الكالسيوم يترسب على هيئة فوسفات الكالسيوم الغير ذائبة في خلايا اللحاء وبذلك فانه لاينتقل . في حين ان Marschner (١٩٧٤) يمتقد ان قلة انتقال الكالسيوم باللحاء يعود لوجود نظام ضخ متخصص لاستبعاد الكالسيوم موجود في اغشية الخلايا المنخلية مما يسبب تركزه في انسجة اللحاء وعدم انتقاله فيها . وهناك احتمال آخر هو ان الانتقال باللحاء بصورة عامة هو انتقال سيمبلازمي وبما ان حركة الكالسيوم في السيمبلازم ضعيفة (Clarkson ، ١٩٧٩) فمن المتوقع ان يكون انتقال الكالسيوم باللحاء محدود . كما اقترح ايضا ان سبب قلة حركة الكالسيوم في اللحاء هو ترسبه بصورة املاح غير ذائبة (مثل اوكزالات الكالسيوم) في فجوات الخلايا وبمجرد دخوله الى خلايا الورقة فانه لايخرج منها . اما Zimmermann (١٩٦٩) فانه يقترح ان الكالسيوم يستبعد من الخلايا المنخلية ويترسب بصورة بلورات في خلايا خاصة . على اي حال فان انتقال الكالسيوم في اللحاء لم يكن معدوما تماما حيث يوجد عدد من الدراسات توضح ان الكالسيوم يمكن ان ينتقل في اللحاء . فقد وجد Lonergan و Snowball (١٩٦٩) ان الكالسيوم انتقل في لحاء نباتات الترمس (Lupinus Plants) . كما وجد Collins و Sutcliffe (١٩٧٧) ان ٢٥ ٪ من الكالسيوم الكلي الموجود في فلقات البزاليا قد انتقلت الى الجذور بواسطة اللحاء . وقد وجد Millikan و Hanger (١٩٦٥) ان حركة الكالسيوم في اللحاء يمكن ان تزداد عندما يضاف هذا العنصر بصورة مخلوبة .

References

1- Armstrong, M.J. and Kirkby, E.A., Estima-tion of Potassium recirculation in tomato plants by comparison of the rates of potassium and calcium accumulation in the tops with their fluxes the xylem stream. Plant Phsiology 63: 1143-1148 (1979).

2- Arnon, D.I., Stout, P.R., and Sipose, F., Radioactive phosphorus as indicator of phosphorus absorption of tomato plants at various stages of development.. American Journal of Botany 27: 791 (1940).

3- Bangerth, F., Calcium-related physiological disorders of plants. Annual Review of Phytopathology 17: 97-122 (1979).

4- Barder, S.A., Influnce of the plant root on ion movement in soil. P. 525-564. In: Carson, E.W. The Plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Nirginia (1974).

5- Baker, D.A., Transport phenomena in plants Outline studies in biology. Chapman and Hall, London (1978).

6- Barley, K.P The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. Advances in Agronomy 22: 159-201 (1970).

7- Bell, C.W. and Biddulph, O. Translocation of Calcium. Exchange versus mass flow. Plant Physiology 38: 610-614 (1963).

8- Bengtsson, B. and Jensen, P., Uptake of Calcium in wheat and cucumber roots. Physiologia Plantarum 55: 273-278 (1982).

9- Bhat, K.K.S., and Nye, P.H., Diffusion of Phosphate to plant roots in soil. III. Depletion around onion roots without root hairs. Plant and Soil 41: 383-394 (1974).

10- Biddulph, O. and Markle, J., Translocation of radiophosphorus in the phloem of the cotton plant. American Journal of Botany 31: 65 (1944).

11- Bowling, D.J.F., Measurment of agradient of oxygen partial presure across the intact root. Planta 111: 323-328 (1973).

12- Bowling, D.J.F., Uptake of ions by plant roots. Chapman and Hall, London (1976).

13- Bowling, D.J.F. Release of ions to the xylem in roots. Physiologia Plantarum 53: 392-397 (1981).

14- Briggs, G.E. and Robertson, R.N. Apparent free space. Annual Review of Plant Physiology 8: 11-30 (1957).

15- Bukovac, M.J. and Wittwer, S.H. Absorption and mobility foliar applied nutrients. Plant Physiology 32: 428-435 (1957).

16- Chamuah, G.S. and Dey, S.K., Cation-exchange capacity of clonal tea root, and its implication on fertilizer responses. Journal of the Science of Food and Agriculture 33: 309-317 (1982).

17- Chung, H.H. and Kramer, P.J., Absorption of water and ^{32}P through suberized and unsuberized roots of Loblolly pine. Canadian Journal of Forest Research 5: 229-235 (1975).

18- Clarkson, D.T., Sites of calcium trans-port in roots and their dependence on metabolism. Journal of The Science of Food and Agriculture 30: 747 (1979).

19- Clarkson, D.T. and Sanderson, J., Relationship between the anatony of cereal roots and the absorption of nutrients and water. Agricultural Research Council Let combe Laboratory Annual Report 1970. P. 16-25 (1971).

20- Clarkson, D.T., and Sanderson, J., Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. Tracer and microautoradiographic studies. Plant Physiology 61: 731-736 (1978).

21- Clarkson, D.T., Sanderson, J. and Russell, R.S., Ion uptake and root age. Nature (London) 220: 805-806 (1968).

22- Collins, O.D.G. and Sutcliffe, J.F., The relationship between transport of individual elements and dry matter from cotyledons of **Pisum sativum** L. Annals of Botany 41: 163-171 (1977).

23- Crafts, A,S. and Broyer, T.C., Migration of salts and water into xylem of roots of higher plants. American Journal of Botany 25: 529-535 (1938).

24- Daftardar, S.V., and Savant, N.K., Influence of competition between root collioids for cations on K / Ca ratio in plant tops.Plant and Soil 34: 201-202 (1971).

25- Drew, M.C. and Nye, P.H., The supply of nutrient ions by diffusion to plant roots in soil. II. The effect of roots of rye grass (**Lolium multif-lorum**). Plant and Soil 31: 407-424 (1969).

26- Drover, D.P., Cation exchange in plant roots. Communication in Soil Science and Plant Analysis 3: 207-209 (1972).

27- Epstein, E., Mineral nutrition of plants: Principles and Perspectives. New York, Jhon Wiley and Sons (1972).

28- Ferguson, I.B. and Clarkson, D.T. Ion transport and endodermal suberization in the roots of Zea mays. The New Phytologist 75: 69-79 (1975).

29- Ferguson, I.B. and Clarkson, D.T., Ion uptake in relation to the development of a root hypodermis. The New Phy tologist 77: 11-14 (1976).

30- Fiscus, E.L. and Kramer, P.J., Radial movement of oxygen in plant roots. Plant Physiology 45: 667-669 (1970).

31- Grasmanis, V.O., and Barley, K.P., The uptake of nitrate and ammonium by successive and ammonium by successive zones of the pea radicle. Astralian Journal of Biological Sciences 22: 1313-1320 (1969).

32- Groenway, H. and Pitman, M.G., Potassium translocation in seedlings of **Hordeum vulgare.** Australian Journal Biological Sciences 18: 235-247 (1965).

33- Hanger, B.C., The movement of calcium in plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis 10: 171-193 (1979).

34- Harrison-Murray, R.S. and Clarkson, D.T., Relationships between structural development and the absorption of ions by the root system of **Cucurbita pepo.** Planta (Berl.) 114: 1-16 (1973).

35- Haynes, R.J., Ion exchange properties of roots and ionic interactions within the root apoplasm: their role in ion accumulation by plants. The Botanical Review 46: 75-99 (1980).

36- Helmy, A.K. and Elgabaly, M.M., Exchange capacity of plant roots. II. Some factors affecting the cation exchange capacity. Plant and Soil 10: 93-100 (1958).

37- Jacoby, B. Sodium relention in excised bean stems. Physiologia Plantarum 18: 730-739 (1965).

38- Keller, P., and Deuel, H., Kationenaustauschkapuzital and Pektingehalt von Pflanzenwurzein. z. Pflanzeneernahr. Ding. Bodenk. 79: 119-131 (1957).

39- Kramer, D. Structure and function in absorp-tion and transport of nutrients. In: Developments in Plant and Soil Scien ces 4: 303-307 (1981).

40- Lauchli, A., Apoplasmic transport in tissues. PP. 3-34 in Luttge, U., and A.M. G. Pitman (eds.). Encyclopedia of plant physiology. Transport in plants. II. Part B. Tissues and Organs. Springer-Verlag, Berlin (1976).

41- Lauchli, A., Spurr, A.R. and Epstein, E., Lateral movement of into the xylem of corn roots. II. Evaluation of stelar pump. Plant Physiology 48: 118-124 (1971).

42- Ledin, S. and Wiklander, L., Exchange acid ity of wheat and Pea roots in salt solution. Plant and Soil 41: 403-413 (1974).

43- Lips, S.H., Ben-Zioni, A. and Vaadia, Y., K^+ recirculation in plants and importance for adequate nitrate nutrition. In: Recent Advances in Plant Nutrition. I: 207-215 (1971).

44- Loneragan, J.F. and Snowball, K., Calcium requirements of plants. Australian Journal of Agricultural Research 20: 465-478 (1969).

45- Marschner, H., Mechanism of regulation of mineral nutrition in higher plants. P. 99-109. In: Bieleski, R., Ferguson, A.R. and Cresswell, M.M. Mechanisms of regulation of Plant growth. Bulletin 12, The Royal Society of New Zealand. (1974).

46- Millikan, C.B. and Hanger, B.C., Effects of chelation and of certain cations on the mobilgty of foliar-applied ^{45}Ca in stock, broad bean, Peas and subterranean clover. Australian journal of Biological Sciences 18: 211-226 (1965).

47- Mitsui, S. and Ueda, M., Cation exchange capacity of crop roots in ralation with ion uptake. Soil Science and Plant Nutrition 9: 43-48 (1963).

48- Mitsui, S. and Ueda, M. Cation exchange capacity of crop roots and ion uptake 2. The effect of cation exchange capacity of soil and plant roots on the uptake of some cations, particularly of magnesium. Soil Science and Plant Nutrition 9: 43-48 (1963b).

49- Nye, P.H., and Tinker, P.B., solute movement in the soil-rest system. Blackwell Scientific Publication, Oxford (1977).

50- Pate, J.S. and Gunning, B.E.S., Transfer cells. Annual Review of Plant Physiology 23: 173-196 (1972).

51- Shear, C.B. and Faust, M., Calcium transport in apple trees. Plant Physiology 45: 670-674 (1970).

52- Spanswick, R.M., Symplasmic transport in tissues. P. 33-53. In: Luttge, U. and Pitman, M.G. Ion transport in plants. II. Part B. Tissues and organs. Encyclopedia of Plant Physiology. New Series, Volume 2. Berlin: Springer (1976).

53- Steucek, C.G. and Koontz, H.V., Phloem mobility of magnesium. Plant Physiol-ogy 6: 50-52 (1970).

54- Stout, P.R., and Hoagland, D.R., Upward lateral movement of salt

in certain plants as indicated by radioactive isptopes of potassium, sodium and Phosphorus absorbed by roots. American Journal of Botany 26: 320-324 (1939).

55- Sutcliffe, J. F., Mineral salt absorption in plant. New York. Pergamon Press (1962).

56- Sutcliffe, J.F., Regulation in whole plant. P. 394-417. In: Luttge, U. and Pitman, M.G. Ion transport in plants. II. Part B. Tissues and Organs. Encyclope· dia of plant Physiology, New Series, Volume 2. Berlin: Springer-Verlag (1976).

57- Thompson, W. W., Platt, K.A. and Campbell N., The use of Lanthanum to delineate the apoplastic continuum in plants. Cytobios 8: 57-62 (1973).

58- Van Goor, B.J. and wiersma, D., Redistribution of potassium, calcium, magnesium and manganese in the plant. Physiologia Plantarum 31: 163-168 (1974).

59- Volz, M.G. and Jacobson, I., A specific Ca requirement for potassium uptake by excised vetch roots. Plant and Soil 41: 647-659 (1974).

60- Wacquant, J.P., Phsico-chemical selectivity for cations and CEC of grass roots. Plant and Soil 47: 257-261 (1977).

61- Wieneke, J., Biddulph, O. and Woodbridge, C. G., Influence of growth requlation substances on absorption and translocation of calcium in Pea and been. American Society for Horticultural Science Journal 96: 721-724 (1971).

62- Zimmermann, M. H., Translocation of nutrients. P. 383-417. In: Wilkins, M.B. The Physiology of Plant growth and development. London, McGraw-Hill (1969).

الفصل الرابع

اختلال تجهيز العناصر المعدنية وعلاقته ببعض الامراض الفسيولوجية في نباتات الخضروات

المقدمة

من المعروف ان اعراض العناصر المعدنية يمكن التعرف عليها بسهولة على نباتات الخضروات . فنباتات الخضروات تحتاج الى نفس ماتحتاجه بقية النباتات الراقية للعناصر المعدنية الا انها تختلف عنها ببعض الصفات منها انها نباتات سريعة النمو حيث ان قسم منها ينضج بعد زراعته بثلاثين يوم فقط كما في حالة الفجل والقسم الاخر تنضج ثماره بعد ثلاثة اشهر من الزراعة كما في حالة الطماطة . هذه السرعة في النمو للخضروات مقارنة بنباتات المحاصيل الحقلية تؤكد ضرورة الاهتمام الكبير في تسميد هذه النباتات لتوفير ماتحتاجه من العناصر المعدنية . اما الميزة الثانية لنباتات الخضروات هي ان الجزء الذي يؤكل (الاوراق او الثمار او السيقان او الابصال او الدرنات او الجذور الخازنة ... الخ) تحصد في مرحلة ماقبل النضج الفسيولوجي (Physiological maturation) في معظم الاحيان وبذلك فانها تحتوي على نسبة عالية من الماء في انسجتها وان نوعية الثمار تعتمد اساسا على نسبة الماء فيها ونجد ان بعض العناصر المعدنية تدخل في تركيب جدر الخلايا مثل الكالسيوم والمغنيسيوم ونقصها يسبب زيادة نفاذية جدر هذه الخلايا وبالتالي سرعة جفاف الانسجة لذلك يجب الاهتمام في توفير هذين العنصرين بصورة ملائمة لتقليل التلف بسبب الذبول بعد الحصاد .

وللحصول على حاصل غزير في فترة النمو القصيرة نسبيا لهذه الحاصيل وذات نوعية جيدة خالي من الامراض الفسيولوجية فانه من الضروري اضافة كميات كبيرة من الاسمدة المحتوية على معظم العناصر المعدنية لتحقيق الهدف اعلاه . ويمكن تعريف الخضروات في الجانب الاقتصادي بأنها تلك النباتات التي تزرع بكثافة عالية وعناية فائقة وذات انتاجية غزيرة ومردود اقتصادي كبير . من ذلك يتضح ان اسعار الاسمدة لاتشكل الا نسبة صغيرة جدا من كلفة الانتاج . المزارعون يعرفون جيدا ان الخضروات الورقية بصورة عامة تحتاج الى الاسمدة النتروجينية بكميات كبيرة لزيادة نموها الخضري في حين ان الخضروات الثمرية تحتاج الى الفسفور بغزارة لزيادة العقد وبالتالي زيادة الانتاج اما الخضروات التي تستهلك جذورها الخازنة فانها تحتاج الى البوتاسيوم بغزارة . الا ان هذا التعميم غير مطلق حيث ان بعض الخضروات الورقية قد تتلف انسجتها بالتسميد بالنتروجين بغزارة وخصوصا تحت ظروف الحرارة المرتفعة . ومن ناحية اخرى فقد وجد ان اللهانة بالرغم من كونها محصول ورقي الا ان حاصلها ازداد باضافة الاسمدة البوتاسية . من ذلك يتضح ان كل محصول له خصوصية في التسميد من حيث نوعية وكمية الاسمدة وان عدم الاهتمام بالتسميد الملائم ينتج عنه ظهور بعض الامراض الفسيولوجية اما بسبب عدم جاهزية واحد او اكثر من العناصر المعدنية الضرورية للنباتات او قد تكون بسبب زيادة تركيز بعض العناصر المعدنية الى الدرجة التي قد تسبب سمية للنباتات مثل النحاس والبورون والحديد والزنك . سنتطرق الى الاعراض العامة لنقص او اختلال تجهيز كل عنصر من العناصر المعدنية على النباتات ثم نتناول اعراض النقص او السمية على الخضروات .

الاختلالات الفسيولوجية التي لها علاقة بالعناصر المعدنية
(Nutritinal Disordors)

اولاً : النتروجين (N)

تعود اهمية هذا العنصر لنمو النباتات الى كونه احد المكونات الرئيسية للاحماض الامينية والاحماض النووية كما انه من المكونات الرئيسية لجزيئة الكلوروفيل كما في (الشكل ٤ ــ ١) . ويعتبر مساعد انزيمي في انزيمات نقل الطاقة مثل ($NADE^+$) ويساعد كذلك على تصنيع الهرمونات في النباتات .

Magnesium-containing head portion

Lipophylic tail portion

(شكل ٤ ـ ١) التركيب البنائي لجزيئة الكلوروفيل يتوضح فيها مواقع النتروجين والمغنيسيوم . (مأخوذ عن **Bidwell** ، ١٩٧٩) .

تمثيل الامونيوم والنترات

التمثيل هو عملية دخول العنصر المعدني في المركبات العضوية لانتاج مركبات ذات اهمية كبيرة في العمليات الحيوية في النبات كالاحماض النووية والاحماض الامينية والبروتينات والكلوروفيل وغيرها . الامونيوم (NH_4^+) بمجرد دخوله في خلايا الجذر يتم تمثيله وينتقل بصورة احماض امينية في اوعية الخشب . اما النترات (NO_3^-) فيجب ان تختزل الى امونيا قبل اتحادها مع المركبات العضوية ويعتقد ان عملية الاختزال هذه تتم بمرحلتين :

١ ـ اختزال النترات الى نتريت (NO_2^-) بواسطة انزيم الـ **Nitrate reductase**

٢ ـ اختزال النتريت الى امونيا (NH_3) بواسطة انزيم الـ **Nitrite reductase**

عملية الاختزال يعتقد انها تتم في البلاستيدات الخضراء في خلايا الاوراق على الاغشية الخارجية للتايلوكويد (Thylakoid) . كما يحصل اختزال للنترات في

سايتوبلازم خلايا الجذور ايضا . وان اول حامض اميني يتكون بعد عملية الاختزال هو الجلوتامين او حامض الجلوتاميك (Glutamine or Glutamic acid) ثم تنتقل من هذا الحامض مجموعة الامين (NH_2) في عملية الـ Transamination الى الاحماض الامينية الاخرى . ومعادلة اختزال النترات الى امونيا هي كما يلي :

$$NO_3^- + 8H^+ + 8e^- \rightarrow NH_3 + 2H_2O + OH$$

التسمم بالامونيا واسبابها

هناك عدد غير قليل من الباحثين ممن اشاروا الى عملية تسمم النباتات بالامونيا لكنهم لم يعطوا الوسيلة او الاسباب الكيموحيوية لحدوث هذا التسمم ولا حتى التراكيز التي يحصل فيها . ولكن هناك اجماع على ان التركيز الضار للامونيا يعتمد على درجة حموضة التربة (pH) ففي الظروف التي يكون فيها المحيط قاعدي يحصل التسمم حسب المعادلة التالية :

$$NH_4^+ \rightleftharpoons NH_3 \text{ (aqueous)} + H^+$$

$$NH_3 \text{ (aqueous)} \rightleftharpoons NH_3 \quad \text{dissolved in water}$$

الا ان هناك اراء معاكسة لما ذكر اعلاه حيث يعتقد ان التسمم قد يحدث تحت ظروف المحيط الحامضي (pH منخفض) . كما يعتقد ان التأثيرات الضارة للامونيا تعود الى مايلي :

١ ـ استهلاك المواد الكاربونية .
٢ ـ اختزال مستويات الاحماض العضوية والتي لها دور مهم في العمليات الحيوية .
٣ ـ تقلل الامونيوم (NH_4^+) من امتصاص البوتاسيوم وذلك بالتنافس معه .
٤ ـ تقلل من كفاءة الامتصاص الايوني .
٥ ـ تعطيل حدوث الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) في تفاعلات الضوء في عملية التركيب الضوئي كما تؤدي الى تمزق اغشية الكلوروبلاست .

وللسيطرة على منع حدوث التسمم الامونيومي يجب المحافظة على درجة حموضة المحلول قريبة من التعادل أو باضافة تراكيز مكافئة من البوتاسيوم لتشجيع عملية اتحاد الامونيوم وتكوين مركبات نتروجينية غير سامة . كما وجد ايضاً انه باضافة كميات ولو قليلة جداً من النترات مع الامونيوم تقلل من التأثير السمي للامونيوم .

اعراض نقص النتروجين

ان الاعراض العامة لنقص النتروجين على النباتات هي الانخفاض المفاجيء في معدل سرعة النمو وفقدان الكلوروفيل حيث تظهر الاوراق في بداية الاصابة خضراء فاتحة اللون وبتقدم الاصابة يصبح لونها اصفر . ان اعراض نقص النتروجين تظهر اولا على الاوراق القديمة والناضجة حيث انه في حالة تعرض النبات الى ظروف نقص النتروجين ينتقل ماموجود منه في الاوراق القديمة والناضجة الى المناطق الفعالة (المرستيمية) والاوراق الحديثة مما يتسبب في ظهور اعراض النقص على الاوراق السفلية في النبات . وبتقدم الاصابة (استمرار النقص او مايطلق عليه بالنقص الشديد) يصبح النبات بكامله اصفر اللون . وبالرغم من دخول النتروجين في عدة مركبات عضوية وكيمياوية في خلايا النبات (البروتينات والانزيمات والاحماض النووية وغيرها) الا ان اول علامة تظهر لنقص هذا العنصر هي توقف بناء الكلوروفيل .

اعراض نقص النتروجين على الطماطة هي الانخفاض الكبير في سرعة النمو يتبعه تغير في اللون الاخضر للاوراق حيث ان هذا التغير اول مايلاحظ على اطراف الاوراق الحديثة في قمة النبات . تبقى هذه الاوراق صغيرة الحجم ورقيقة وباشتداد النقص يتحول لون النبات بكامله الى الاصفر الفاتح . كما تتلون اعناق الاوراق والعروق باللون البنفسجي خصوصاً على السطح السفلي من الورقة . يصبح الساق ليفي وقد يتلون باللون البنفسجي ايضاً . اما الجذور في النباتات التي تعاني من نقص النتروجين تكون قليلة النمو وتتلون باللون البني ثم تموت . تتلون الازهار باللون الاصفر الباهت وتكون الثمار صغيرة والمحصول قليل جداً أو معدوم .

في حالة نباتات الخيار التي تعاني من نقص النتروجين فان اول الاعراض هي توقف نمو الاوراق واصفراراً خفيف على جميع الاوراق . تظهر بقع صفراء على الاوراق وسرعان مايتحول لون الورقة بالكامل الى اللون الاصفر الفاتح وذلك يعود الى توقف بناء الكلوروفيل وتكسر جزيئاته . تصبح السيقان رقيقة ومتصلبة في النباتات المصابة والثمار تكون باهتة اللون ومعقوفة من نهايتها في الطرق الزهري . ان تركيز النتروجين في انسجة الاوراق الذي يصاحبه ظهور اعراض نقص النتروجين يختلف باختلاف نوع النبات والعمر الفسيولوجي للجزء النباتي المأخوذ للتحليل والعوامل الاخرى المؤثرة في نمو النبات ولكن بصورة عامة فان اعراض نقص النتروجين تظهر عندما يكون تركيز هذا العنصر اقل من ١,٥ ٪ على اساس الوزن الجاف للاوراق (Ward ، ١٩٦٣) .

ان اسباب نقص النتروجين في التربة عديدة منها انه سريع البزل في الترب الرملية وتكون جاهزيته قليلة في الترب الفقيرة بالمادة العضوية أو تحت ظروف انخفاض درجة الحرارة في الترب الغنية بالمادة العضوية . يضاف النتروجين الى النبات بثلاث صور هي النترات والامونيوم والنتروجين العضوي بشكل يوريا . من خلال نتائج بعض الدراسات لوحظ انه في حالة اضافة النتروجين بصورة امونيوم الى نباتات الخضر النامية في تربة حامضية يسبب ضرر كبير للنباتات خصوصاً عندما تكون عملية النترجة Nitrification ضعيفة . ومن اهم الاضرار التي تسببها ايونات الامونيوم هي منافستها للايونات الموجبة الاخرى على الامتصاص بواسطة النبات كالكالسيوم والمغنيسيوم (Pill وآخرون ، ١٩٧٨) كما في جدول (٤ ــ ١) . نتائج هذه الدراسة توضح ان تغذية الطماطة بالامونيوم سببت خفضاً في تركيز الايونات ثنائية الشحنة (M^2g^+, C^2a^+) في الاوراق . كما يعتقد ان للامونيوم تأثير غير مباشر لظهور مرض تعفن الطرف الزهري (Blossom End Rot, BER) الذي يظهر على ثمار الطماطة والفلفل والرقي وذلك يعود لتنافس الامونيوم مع الكالسيوم على الامتصاص وبالتالي ظهور اعراض نقص الاخير الذي يمثل بظهور هذا المرض .

(جدول ٤ ــ ١)

تأثير صور النتروجين على تركيز الايونات الموجبة في اوراق الطماطة (مأخوذ عن Pill وآخرون ، ١٩٧٨) .

صور النتروجين	تركيز النتروجين (مليمكافيء / لتر)	النسبة المئوية للعناصر المعدنية في الاوراق على اساس الوزن الجاف Ca	Mg	K
النترات (NO_3)	٥	٥,٢٠	٠,٨٩	٣,٦٧
	١٢,٥	٥,٥٣	٠,٩٨	٤,٦٥
	٢٠,ــ	٣,٨٧	٠,٧٧	٠,٨٢
الامونيوم (NH_4)	٥	٢,٦٥	٠,٤٥	٤,٤٨
	١٢,٥	١,٦٧	٠,٣٢	٤,٢٨
	٢٠,ــ	١,٤٢	٠,٣١	٤,٥٠

هناك ادلة واضحة تشير الى ان اصناف النباتات المختلفة ضمن النوع الواحد تختلف في كفاءتها في استثمار النتروجين وبالتالي حساسيتها لنقص عنصر النتروجين . فقد وجد O'Sullivan وآخرون (١٩٧٤) ان تعريض اصناف مختلفة من نباتات الطماطة لظروف نقص النتروجين اظهرت اختلافا واضحا في كمية المادة الجافة المنتجة لكل ملغرام نتروجين امتصته النباتات (جدول ٤ ـ ٢).

جدول ٤ ـ ٢ كفاءة استثمار النتروجين في اصناف الطماطة المختلفة تحت ظروف نقص النتروجين (مأخوذ عن O'Sulluuvan وآخرون ، ١٩٧٤)

الضرب او السلالة	مستوى النتروجين المضاف	كمية المادة الجافة (غم)	كمية النتروجين الممتص (ملغم)	النسبة المئوية للنتروجين في النبات
	٣٥ ملغم N/ نبات			
غير كفوء ـ ٦٢		٢,٧١	٣٠,٧	١,١٣
غير كفوء ـ ٥١		٢,٥١	٣٠,٢	١,٢٠
كفوء ـ ٣٤		٣,٥١	٣٢,٠	٠,٩١
كفوء ـ ٦٣		٣,٦٢	٣٠,٦	٠,٨٢
	٥٠ ملغم N/ نبات			
غيركفوء ـ ٦٢		٤,٩٦	٤٧,٦	٠,٩٦
غير كفوء ـ ٥١		٣,٧٣	٤٠,٨٦	١,١٠
كفوء ـ ٣٤		٥,١٠	٤١,٨٧	٠,٨٢
كفوء ـ ٦٣		٥,٣٢	٤٣,٢١	٠,٨١

تحسب كفاءة استثمار اي عنصر بواسطة النبات كما يلي :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{كمية المادة الجافة التي ينتجها النبات (ملغم)}}{\text{كمية العنصر الممتص (ملغم)}}$$

نتائج هذه الدراسة توضح ان الصنفين كفوء - ٣٤ وكفوء - ٦٣ انتجتا مادة جافة اكثر من الصنفين غير كفوء - ٦٢ وغير كفوء - ٥١ تحت نفس التركيز من النتروجين في المحلول المغذى ونفس الكمية الممتصة منه . وبصورة عامة فان كفاءة استثمار اي عنصر تتناسب عكسيا مع تركيزه في انسجة النبات . من ذلك يتضح انه بالامكان انتاج اصناف كفوءة في استثمار هذا العنصر وهذه الكفاءة تنعكس ايجابيا على تقليل ضرر نقص النتروجين في النباتات . اما اعراض زيادة النتروجين في انسجة النبات هي تلونه باللون الاخضر الداكن وانحسار كبير في نمو الجذور . كما لوحظ ان نباتات البطاطا قد تنتج درنات صغيرة وقد ينعدم الازهار وتكون البذور . كما ان زيادة التسميد النتروجيني تسبب زيادة كبيرة في حجم النمو الخضري للنباتات مما ينتج عنه اعاقة كبيرة في عمليات الخدمة وجني المحصول وتأخير النضج . وقد يتراكم النتروجين بصورة نترات عند التسميد النتروجيني الغزير وهذا التراكم للنترات قد يسبب سمية للنباتات خصوصا عندما يكون تركيزها عالي جداً في انسجة النبات .

لمعالجة نقص النتروجين تضاف الاسمدة النتروجينية الى التربة . وقد يضاف بعضها بتراكيز منخفضة رشا على الاوراق كما في حالة اليوريا حيث ترش بتراكيز ٠,٢٥ ٪ الى ٠,٥٠ ٪ للحصول على استجابة سريعة . اما في حالة الزراعة في اوساط مائية أو اوساط غير التربة فيمكن اضافة نترات البوتاسيوم او نترات الكالسيوم للمحلول المغذى .

ثانياً : الفسفور P

يدخل الفسفور في تركيب عدد كبير من المركبات العضوية كالاحماض الامينية والسكريات المفسفرة ومركبات انتاج الطاقة (ATP) والاحماض النووية الفوسفولبيدات وبعض المساعدات الانزيمية . كما أن للفسفور دور فعال في تصنيع الدهون وفي التنفس وتصنيع وانتقال النشويات في النبات .

الاعراض العامة لنقص الفسفور هي الانخفاض الكبير في معدل سرعة النمو وتلون الاوراق باللون الاخضر الداكن . تكون النباتات التي تعاني من نقص الفسفور صغيرة الحجم متقزمة وفي اغلب الاحيان تتلون عروق اوراقها خصوصا على السطح السفلي باللون البنفسجي وذلك بسبب تكون صبغة الانثوسيانين . ويعتقد ان تراكم الكربوهيدرات في اوراق هذه النباتات التي لاتستخدم في النمو بسبب نقص هذا العنصر هي السبب في ظهور صبغة الانثوسيانين . تحتاج نباتات الخضر للفسفور بكميات كبيرة في مرحلتين من نموها . الاولى هي مرحلة نقل

الشتلات الى الارض الدائمة (في حالة الخضروات التي تزرع بشكل داية ثم تنقل الى الارض الدائمة) اما المرحلة الثانية فهي عند عقد الثار وتكون البذور . لقد وجد ان اعراض نقص الفسفور تظهر على النبات عندما ينخفض تركيز هذا العنصر في الاوراق عن ٠,٢ ٪ على اساس الوزن الجاف . الاعراض الاولية لنقص الفسفور في نباتات الطماطة هي تلون السطح السفلي للاوراق باللون البنفسجي وقد يظهر هذا التلون بشكل بقع على عروق الورقة مايلبث ان يغطي سطح الورقة بالكامل . تصبح الساق مستديرة وضعيفة والاوراق صغيرة والتزهير متأخر والعقد ضعيف والنضج متأخر ايضاً .

اعراض نقص الفسفور تظهر على البصل ايضاً خصوصا في نهاية الموسم عندما يبدأ الفسفور بالانتقال من الاوراق الى الاجزاء الخازنة (البصلة) وفي بعض الاحيان يتقزم النبات وتتبقع الاوراق باللون الاخضر والاصفر والبني (Stuart و Griffin ، ١٩٤٤) . وفي اغلب الخضروات الورقية من العائلة الصليبية يسبب نقص الفسفور ظهور اللون البنفسجي على السطح السفلي وحواف الاوراق . نقص الفسفور تظهر اعراضه على الاوراق القديمة في حالة نقص النتروجين لانه من العناصر المتنقلة في النبات .

بالرغم مما تقدم فان نقص الفسفور نادر الحدوث في الخضروات واقل تلفا للنباتات التي تعاني من نقصه مقارنة بالنتروجين . لكن نقص الفسفور يسبب قلة في تصنيع الحامض النووي RNA وبالتالي قلة في تصنيع البروتينات وبذلك يقل بناء الخلايا الجديدة مما ينعكس على النمو الخضري بصورة سلبية . نقص الفسفور قد يحصل في الترب المسمدة بالفسفور تحت ظروف معينة وذلك يعود الى قلة جاهزيته كما في الترب الحامضية (pH منخفض) او في الترب القاعدية (pH اعلى من ٧) . وعندما تكون درجة حرارة التربة او رطوبتها منخفضة . وللتركيب الوراثي للنباتات تأثير كبير على تقليل ضرر نقص هذا العنصر ويعود ذلك الى كفاءة استثمار الفسفور تحت ظروف نقصه . لقد وجد Whiteaker وآخرون (١٩٧٦) ان كفاءة استثمار الفسفور كانت مختلفة في ستة اصناف من الفاصوليا (جدول ٤ _ ٣) .

النتائج توضح ان الاصناف الغير كفوءة او المتوسطة الكفاءة في استثمار الفسفور احتاجت الى نسبة عالية من هذا العنصر في انسجتها مقارنة بالاصناف الكفوءة .

وبناء على نتائج هذه الدراسة يمكننا استنباط بعض الاصناف والسلالات ذات الكفاءة العالية في استثمار الفسفور وتقليل ضرر نقصه .

جدول ٤ ـ ٣ تركيز الفسفور في ستة اصناف من الفاصوليا المغذاة بملغرامين فسفور لكل نبات (مأخوذ عن Whiteaker وآخرون ، ١٩٧٦) .

الصنف او السلالة	النسبة المئوية للفسفور على اساس الوزن الجاف		
	قمة النبات	الجذور	مجموع النبات
غير كفوء ـ ٣	٠,٢٦٢	٠,٣٠٠	٠,٢٦٣
متوسط الكفاءة ـ ١	٠,١٦٨	٠,٢٣٥	٠,١٧٨
متوسط الكفاءة ـ ٦	٠,١٩٨	٠,١٧٥	٠,١٩٥
متوسط الكفاءة ـ ٩	٠,١٩٢	٠,٢٥٨	٠,٢٠٠
كفوء ـ ١١	٠,١٣٤	٠,١٦٧	٠,١٤٩
كفوء ـ ١٢	٠,١٤٩	٠,١٧٥	٠,١٥٤

ولمعالجة نقص الفسفور يمكن اضافة الاسمدة الفوسفاتية للتربة كما يجب تعديل حوضة التربة الى قرب التعادل او مائل للحامضية قليلاً (pH = ٦ ـ ٦,٥) بحيث يصبح هذا العنصر غير مثبت بدرجة كبيرة كما في الترب القاعدية والحامضية على السواء . اما في حالة الزراعة في اوساط غير التربة فيمكن اضافة الفسفور الى محلول التغذية بصورة فوسفات البوتاسيوم الاحادية (KH_4PO_4) . زيادة جاهزية الفسفور عن المستوى الملائم لنمو النبات لا تسبب سمية الا انه قد تكون هناك اضرار او تأثيرات غير مباشرة حيث ان زيادة امتصاص هذا العنصر تسبب نقص في امتصاص عنصري النحاس والزنك وبالتالي ظهور اعراض نقصها .

ثالثاً : البوتاسيوم K

يحتل البوتاسيوم المرتبة الخامسة من حيث الاهمية الا انه لا يدخل في تركيب اي مركب عضوي في النبات . يساعد البوتاسيوم على تنظيم فتح وغلق الثغور مما يزيد من كفاءة الورقة في التمثيل الضوئي . ويعتبر البوتاسيوم مساعد انزيمي حيث ان له قابلية على تحفيز حوالي ٦٦ انزيم ومنها انزيمات التنفس وانزيمات نقل الطاقة (Evans و Sorger ، ١٩٦٦) . كما ان له دور فعال في تحول الاحماض الامينية الى بروتينات وهو ضروري لعملية اختزال النترات الى امونيا داخل انسجة النبات . قد تظهر اعراض نقص البوتاسيوم في نهاية موسم النمو ويعتقد ان

سبب ذلك يعود الى انتقال هذا العنصر من الاوراق القديمة والناضجة الى الاوراق الحديثة والثمار . لكن ظهور علامات نقص البوتاسيوم في بداية موسم النمو فإن ذلك يسبب انخفاض كبير في الحاصل وتدهور في نوعية الثمار . وتظهر اعراض نقص هذا العنصر اولا على الاوراق الناضجة والقديمة ويتقدم عمر النبات تشتد الاصابة وقد تشمل اعراض النقص كل النبات . ويعتقد Ulrich و Ohki (١٩٦٦) انه بمجرد ظهور علامات النقص على الاوراق الناضجة لا يمكن ان تعود هذه الاوراق الى طبيعتها حتى ولو توفر البوتاسيوم في التربة . واعزى سبب ذلك الى ان المناطق النامية في النبات (الثمار والقمم النامية والاوراق الحديثة) لها الاولوية في الحصول على هذا العنصر لذلك في حالة نقصه في التربة أو قلة جاهزيته للنبات سينتقل هذا العنصر من الاوراق القديمة والناضجة الى الاوراق الحديثة والقمم النامية . اعراض نقص البوتاسيوم التي تظهر على الاوراق الناضجةوهي ظهور بقع صفراء باهتة بين العروق قرب حافة الورقة وسرعان مايتحول لون هذه البقع الى اللون البني ثم تموت الانسجة وتصبح جافة .



اعراض نقص البوتاسيوم على نباتات البطاطا هي تلون الاوراق باللون الاخضر الغامق . اما في الطماطة فتكون حواف الاوراق ملتفة نحو الداخل وبتقدم الاصابة يكون النبات متقزم والبقع المتيبسة تزدادا وتكبّر وتبدأ الوريقات بالتيبس والموت من الطرف القمي . اما الثمار فيكون نضجها غير متجانس وتوجد عليها بقع خضراء غير متلونة . ويعتقد ان سبب رداءة نوعية ثمار الطماطة الناتجة من نباتات تعاني من نقص البوتاسيوم يعود الى قلة انتقال المواد المصنعة في الاوراق الى الثمار (Mengel و Viro ، ١٩٧٤) . اما اعراض نقص هذا العنصر على اوراق الخيار هي تلون حواف الاوراق القديمة باللون الاخضر الفاتح وبتقدم الاصابة تصبح ذات لون بني ثم تجف وسرعان مايمتد التيبس نحو مركز الورقة وتزداد المساحات المتيبسة من الورقة الا ان العروق الكبيرة في الورقة تبقى خضراء اللون . نقص البوتاسيوم يسبب انخفاض حاد في تصنيع البروتينات وبذلك تتجمع المركبات البروتينية الذائبة ومن بينها الامينات (Diamines) وعندما يرتفع تركيز هذه المركبات الى مستوى السمية تسبب موت الانسجة . تتعرض النباتات الى نقص البوتاسيوم اذا كانت نامية في تربة حامضية (pH منخفض) حيث يثبت البوتاسيوم تحت هذه الظروف ويصبح غير جاهز . كما تظهر اعراض نقصه في الترب الرملية الخفيفة وذلك لسرعة البزل مع مياه الري . اما ظهور اعراض نقص البوتاسيوم على النباتات النامية في الترب العضوية (Muck Soil) وفي ترب البيت (Peat) فإنه يعود الى تثبيت هذا العنصر بواسطة ادمصاصه على اسطح غرويات هذه الترب وبالتالي تقل جاهزيته للنبات .

ان انخفاض تركيز البوتاسيوم في اوراق النباتات الى اقل من ١,٥ ٪ على اساس الوزن الجاف تظهر اعراض نقصه (Geraldson وآخرون ، ١٩٧٣) وقد لوحظ ان الاصناف المختلفة تختلف في درجة حساسيتها لنقص البوتاسيوم . الجدول (٤ ـ ٤) يوضح كفاءة ثلاثة أصناف من الطماطة هي (Early Pak) ، و (VF145) و (UC82) في استثمار البوتاسيوم . ونتائج هذه الدراسة تشير الى ان الصنف (UC 82) كان اكفأ من الصنفين الآخرين في استثمار البوتاسيوم في النمو

جدول (٤ ـ ٤)

تأثير التغذية بمستويات مختلفة من البوتاسيوم على كفاءة استثمار البوتاسيوم في ثلاثة اصناف من الطماطة (مأخوذ عن Maynard وآخرون ، ١٩٨٠) .

مستويات البوتاسيوم (ملغم / نبات)	Early Pak	VF 145	UC 82
	ملغم مادة جافة لكل ملغم K ممتص		
٣٠	٣٧١	٢٨٧	٢٩٣
٤٥	٢١١	٢٢٨	٢٣٢
٦٠	٢١٤	١٨٤	١٩٧
٩٠	١٧٥	١٦٢	١٦٤
١٢٠	١٣٤	١٣٣	١٥٨
١٨٠	١١٦	١٢٣	١٣٦
معدل الصنف	١٨٦	١٨٦	١٩٧

وانتاج المادة الجافة عند اجراء المقارنة بين الاصناف عند كل مستوى من مستويات البوتاسيوم . كما لاحظ Al-Sahaf (١٩٨٤) وجود اختلافات واضحة بين صنفين من الطماطة في استثمار البوتاسيوم حتى عندما يكون البوتاسيوم متوفر للنبات (جدول ٤ ـ ٥) . اظهرت النتائج ان الصنف Angela اكفأ من الصنف Eurovite في استثمار البوتاسيوم من خلال كمية المادة الجافة الناتجة عن امتصاص ملغم من البوتاسيوم . من الدراسات اعلاه (Maynard وآخرون ، ١٩٨٠ وAl-Sahaf ١٩٨٤) يتضح ان الاصناف المختلفة لها كفاءات مختلفة في استثمار البوتاسيوم لذلك من الضروري الاستمرار في استنباط اصناف جديدة ذات كفاءة عالية في استثمار البوتاسيوم لتقليل ضرر نقص هذا العنصر على النمو . لا توجد

(جدول ٤ ـ ٥)

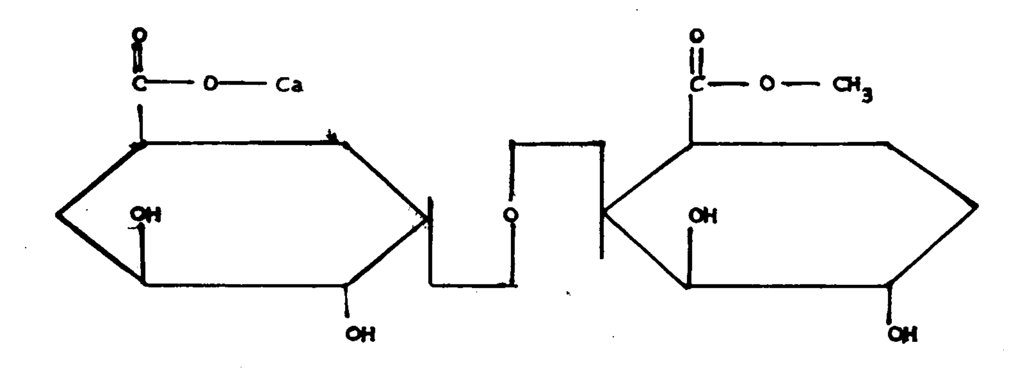
كفاءة استثمار البوتاسيوم في صنفين من الطماطة مغذاة بنفس الكمية من البوتـاسيوم في مزرعـة مـائيـة Hydroponics (مـأخوذة عن Al-Sahaf ، ١٩٨٤).

الصنف	مجموع المادة الجافة (غم/ نبات)	ملغم مادة جافة/ ملغم K ممتص
Angela	٥٦,١٧	٢٧,٦٦
Eurovite	٥٤,٩٦	٢٦,٦٦

هناك حالات تسمم من زيادة البوتاسيوم في النبات وربما يرجع ذلك الى قابلية النباتات لتحمل التراكيز المرتفعة من البوتاسيوم ولكن قد يكون لزيادة البوتاسيوم تأثير ضار على نمو النبات بصورة غير مباشرة وذلك من خلال تنافسه مع الكالسيوم والمغنيسيوم على الامتصاص وبالتالي ظهور اعراض نقص هذين العنصرين على النبات (Ulrich و Ohki ١٩٦٦).

رابعاً : الكالسيوم Ca

ترجع اهمية الكالسيوم الى انه احد المكونات الاساسية في جدران الخلايا والأغشية الخلوية المحيطة بالسايتوبلازم. يوجد الكالسيوم في جدران الخلايا على هيئة بكتات الكالسيوم (Calcium Pectate).



كما ان للكالسيوم تأثير كبير على نفاذية جدران الخلايا في الجذور كما يشجع امتصاص النترات ويشكل جسراً يربط الاحماضْ النووية (DNA) . وقد ذكر Bidwell (١٩٧٩) ان للكالسيومْ دور فعال في حيوية حبوب اللقاح ونمو الانبوبة اللقاحية . ويعتقد ان للكالسيوم دور في الانقسام الاعتيادي (Mitosis) وذلك من خلال تنظيم الكروماتين حيث وجد ان هناك علاقة موْجبة بين الشذوذ الكروموسومي ونقص الكالسيوم (Hyde و Paliwal ، ١٩٥٨) . الكالسيوم له دور كبير في تنشيط العمليات الحيوية من خلال تنشيطه لعدد من الانزيمات منها الارجنين كاينيز (Arginine Kinase) والادينوسين تراى فوسفاتيز (Adenosine Triphosphatase) والادينيل كاينيز (Adenyl Kinase) كما وجد Florell (١٩٥٦ ، ١٩٥٧) ان نقص الكالسيوم يسبب انخفاض عدد المايتوكوندريا في جذور القمح .

يوجد عدد كبير من الامراض الفسيولوجية سببها نقص الكالسيوم قسم منها يظهر على النمو الخضري كالاوراق والساق والقمم النامية في حين يظهر القسم الآخر على الاجزاء الخازنة سواء كانت جذور خازنة كما في حالة الجزر والجزر الابيض (Parsnip) او الاوراق الملتفة كما في حالة اللهانة والخس او الثمار كما في الطماطة والفلفل والرقي . فقد ذكر Shear (١٩٧٥) قائمة تتضمن ٣٠ مرض فسيولوجي على النباتات سببها نقص الكالسيوم . ويعتقد ان هذه الامراض الفسيولوجية قد لاتعود الى نقص الكالسيوم فحسب وانما الى عدم تجانس توزيعه في النبات وصعوبة اعادة توزيعه وانتقاله باللحاء من موقع لاخر في حالة تعرض النباتات الى نقص هذا العنصر . وبناء على ذلك فان الاوراق التي تقوم بعملية نتح تحتوي على نسبة كبيرة من الكالسيوم مقارنة بالاوراق الصغيرة والحديثة او تلك الملتفة كما في حالة الاوراق الداخلية في رؤوس اللهانة والخس . فعدم التجانس في توزيع هذا العنصر في النبات سوف لايمكن معالجته باضافة الاسمدة المحتوية على الكالسيوم الى التربة (Bangerth ، ١٩٧٩) وانما تجرى عمليات اخرى لتقليل النتح مثلاً وبذلك يحصل تجانس في توزيع الكالسيوم في النبات سواء في الاوراق الخارجية او الداخلية كما قد تضاف بعض الاسمدة المحتوية على هذا العنصر رشا على الاوراق . ولاهمية هذا العنصر وتأثيراته المباشرة على نوعية محاصيل الخضر وبالتالي على المردود الاقتصادية للمحاصيل التي تتضرر من نقصه فقد اجريت دراسات متعددة حول سلوك الكالسيوم بالنبات وفيما يلي استعراض لقسم منها .

اولاً : تأثير الكالسيوم على القمم النامية في النباتات

من الامراض الشائعة على المحاصيل الورقية خصوصاً تلك التي تحتوي على رؤوس ملتفة كاللهانة والخس هو مرض التحرق الطرفي للأوراق Tipburn وسبب هذا المرض الفسيولوجي هو نقص الكالسيوم في تلك الاوراق . اهم اعراض المرض هي ظهور بقع بنية ميتة على الاوراق الحديثة التكوين في القمة النامية وعلى الاوراق الداخلية ايضاً . وقد اجرى عدد من الباحثين دراسات متنوعة لمعرفة الاسباب الحقيقية وراء ظهور اعراض نقص الكالسيوم على الاوراق الحديثة أو اوراق رؤوس اللهانة والخس . فقد اجرى فريق من الباحثين (Palzkill وآخرون ، ١٩٧٦ و Palzkill و Tibbitts ، ١٩٧٧ و Tibbitts و Palzkill ، ١٩٧٦) عدة دراسات على نباتات اللهانة . فقد وجدوا انه عندما يقلل التنافس بين الاوراق الخارجية السريعة النتح والاوراق الداخلية القليلة النتح يحصل توزيع متجانس للكالسيوم داخل النبات . ولتحقيق ذلك غلفت بعض النباتات باكياس نايلون والقسم الاخر ترك بدون تغليف (مقارنة) فلاحظوا ان توزيع الكالسيوم كان متجانس في كافة اجزاء النباتات المغلفة ولم تظهر اعراض نقص الكالسيوم في الاوراق الداخلية في حين ظهرت اعراض نقص الكالسيوم على الاوراق الداخلية في نباتات المقارنة . وقد اعزى ذلك الى ان التغليف قلل من النتح وبالتالي تسبب في نشوء مايسمى بضغط الجذور (Root Prussure) وتحت هذه الظروف يكون انتقال النسغ الصاعد تحت تأثير الاختلاف في تركيز الايونات (Diffussion) وليس بتأثير النتح وبالتالي ينتقل الماء وكافة ايونات العناصر المعدنية الذائبة فيه الى كافة الاوراق سواء داخلية كانت أو خارجية . ولمعالجة هذا المرض من الضروري استنباط اصناف ذات كفاءة عالية في استثمار الكالسيوم وقليلة الحساسية لنقصه اضافة الى ضرورة الاهتمام بالتسميد واستبعاد اي عامل من شأنه ان يؤثر على جاهزية وامتصاص هذا العنصر من قبل النباتات .

ان مرض القلب الاسود (Blackheart) في اصناف الكرفس الاجنبية والذي هو عبارة عن موت القمة النامية نتيجة اصابات ثانوية قد تكون فطرية أو بكتيرية يعود سببه الرئيسي لنقص عنصر الكالسيوم (Geraldson ، ١٩٥٤) . ولمكافحة هذا المرض يجب استخدام اصناف قليلة الحساسية لنقص الكالسيوم ورش النباتات ببعض املاح الكالسيوم مثل كلوريد الكالسيوم والاهتمام بالتسميد الجيد الذي يوفر التوازن بين الايونات الموجبة والسالبة .

اما اعراض نقص الكالسيوم على نباتات الطماطة هي اصفرار الاوراق في قمة النبات ثم موتها كما ان القمم النامية في الساق والجذور تتلون باللون البني وتموت

وبتقدم الاصابة تموت الاجزاء القمية من الساق وتتيبس حوامل النورات الزهرية وبالتالي فقدان الحاصل كما في (صورة ٤ ـ ١).





(صورة ٤ ـ ١)
تأثير نقص الكالسيوم على صنفين من الطماطة (Angela و Eurovite) ويلاحظ موت القمم النامية وتيبس

اما في نباتات الخيار التي تعاني من نقص الكالسيوم فتظهر علاماته بشكل بقع بيضاء في الاوراق العلوية بالقرب من طرف الورقة وبين العروق ثم يبدأ الاصفرار بالتوسع من طرف الورقة نحو مركزها . اما الاوراق الحديثة في القمة النامية تبقى صغيرة ويموت البرعم الطرفي. يصبح النبات متقزم وسلاميات الساق قصيرة خصوصاً قرب القمة النامية . وللمعالجة السريعة من الضروري رش النباتات بنترات الكالسيوم بتركيز ٠,٧٥ ـ ١,٠ ٪ أو كلوريد الكالسيوم ٠,٤ ٪ على الطماطة والخيار .

ثانياً : تأثير نقص الكالسيوم على الثمار والاجزاء الخازنة

هناك مرض شائع يصيب ثمار بعض المحاصيل الاقتصادية المهمة هو مرض تعفن الطرف الزهري (Blossom End Rot) حيث تظهر اعراضه على ثمار الطماطة والفلفل والرقي . بصورة عامة تظهر اعراض هذا المرض على هيئة بقع متميئة في الطرف الزهري من الثمرة وسرعان ماتتوسع هذه البقع مكونة البقعة البنية الجلدية الملمس وبذلك يتوقف النمو الطولي للثمرة كما في صورة (٤ ـ ٢) . ومن



(صورة ٤ ـ ٢)

مرض تعفن الطرف الزهري في الطماطة بعد تعريض النباتات لنقص الكالسيوم . يلاحظ وجود البقعة البنية في النهاية الزهرية للثمرة وتوقف نموها الطولي .

الناحية السايتولوجية فان الانسجة التي تعاني من نقص الكالسيوم تختفي فيها اغلفة الخلايا كغشاء الستيوبلازم وغشاء الفجوات وينحل فيها السيتوبلازم (Hecht-Buchholz, ١٩٧٩) فتتعرض محتويات الخلايا للمحيط الخارجي وبالتالي جفافها كما قد تحصل اصابات ثانوية ببعض الفطريات والبكتريا . بالرغم من تفاوت نتائج الباحثين حول محتوى ثمار الطماطة من الكالسيوم الذي تظهر فيه اعراض نقصه إلا أن نتائج جميع الباحثين تشير الى أن اعراض مرض تعفن الطرف الزهري في الطماطة ظهرت تحت ظروف التغذية بتراكيز منخفضة من الكالسيوم . فقد ذكر Evans و Toxler (١٩٥٣) ان اعراض المرض ظهرت على ثمار الطماطة المحتوية على ٠,١ الى ٠,١٣ ٪ كالسيوم على اساس الوزن الجاف في حين وجد Pill وآخرون (١٩٧٨) ان ثمار الطماطة كانت سليمة عندما كان تركيز الكالسيوم في انسجتها ٠,٠٤ ٪ فقط وفي الثمار المصابة كان تركيزه ٠,٠٢ ٪ . على اية حال فان هذه الفروقات قد تعود الى اختلاف ظروف تجارب الباحثين واختلاف الاصناف المستخدمة . ويعتقد بعض الباحثين ان تركيز الكالسيوم في الثمار قد لايعطي صورة واضحة لظهور اعراض المرض ويقترح هؤلاء بضرورة اخذ نسبة البوتاسيوم الى الكالسيوم (K/Ca ratio) في انسجة الثمار (Pill وآخرون ، ١٩٧٨ و Dekock وآخرون ، ١٩٧٩) وعند زيادة هذه النسبة فان اعراض المرض ستظهر بغض النظر عن تركيز الكالسيوم لوحده . وقد وجد AL-Sahaf (١٩٨٤) فروقات واضحة في كفاءة استثمار الكالسيوم بين الاصناف فلقد وجد ان الصنف Eurovite اكثر كفاءة في استثمار الكالسيوم مما انعكس ايجابياً على تقليل نسبة الثمار المصابة وتأخير ظهور المرض مقارنة بالصنف الغير كفوء Angela (جدول ٤ ـ ٦) .

وقد اعزى DeKock وآخرون (١٩٨٢) الاختلافات بين الاصناف في حساسيتها لنقص الكالسيوم وظهور المرض الى الاختلاف في التوازن بين المواد المشجعة للنمو (Growth Promotors) والمواد المثبطة للنمو (Growth Inhibitors) في تلك الأصناف .

اضافة لاختلاف الاصناف توجد عوامل خارجية عديدة لها تأثير كبير على ظهور المرض . فقد وجد Kondo (١٩٧٢) ان زيادة التسميد النتروجيني تشجع من ظهور المرض . كما ان لصورة النتروجين تأثير كبير على ظهور اعراض المرض حيث ان التسميد النتروجيني بصورة امونيوم يشجع ظهور هذا المرض مقارنة بالتسميد النتروجيني بصورة نترات (Pill وآخرون ١٩٧٨ ولطفي ، ١٩٨٦) وقد اعزى ذلك الى ان الامونيوم (NH_4^+) عبارة عن ايونات موجبة تتنافس مع

جدول ٤ ـ ٦ تأثير مستويات الكالسيوم على عدد الثار بالنبات وظهور اعراض مرض التعفن الطرف الزهري (BER) في صنفين من الطماطة (مأخوذ عن Al-sahaf ، ١٩٨٤).

الصنف	المعاملة بالكالسيوم	عدد الثمار بالنبات	عدد الثار المصابة بالمرض BER	النسبة المئوية للثار المصابة	عدد الأيام لظهور المرض بعد المعاملة
Eurovit	محلول مغذي كامل	١٦,٦	لايوجد	ـ	ـ
	محلول مغذي ـ Ca-	١٤,٥	٧,٠	٥٣,٥	٩,٠
Argela	محلول مغذي كامل	٧,٧	لايوجد	-	-
	محلول مغذي -Ca	٥,٤	٤,١	٧٩,٧	٦,٠

الكالسيوم على الامتصاص وبالتالي تسبب ظهور اعراض نقصه. كما ان نقص الفسفور (Arnon و Hoagland ، ١٩٤٣) او زيادة تركيز البوتاسيوم (Forster ، ١٩٧٣) في وسط النمو تسببا في ظهور هذا المرض على ثمار الطماطة. وقد وجد Cerda وآخرون (١٩٧٩) ان قلة تجهيز النباتات بالماء اما بطريقة التمليح (رفع الضغط الازموزي) لوسط النمو او تعريض النباتات للعطش (Ward ، ١٩٧٣) تسبب في ظهور هذا المرض على ثمار الطماطة. ويعتقد Van Goor (١٩٧٤) ان قلة تجهيز الماء للنبات تسبب ظهور اعراض المرض بطريقتين اولها ان الماء المفقود من خلايا الثمار بالنتح لايعوض بسبب عدم التجهيز من وسط النمو وثانيها ان قلة تجهيز الماء تسبب قلة امتصاص العناصر المعدنية بواسطة النبات والتي من ضمنها الكالسيوم وبالتالي ظهور المرض على الثار. ومن الضروري التأكيد هنا من ان اعراض المرض تظهر على الثار في كافة مراحل نموها ولكن الاعراض تظهر بدرجة اشد واسرع في مرحلة انتفاخ المبيض Ovary swelling حيث ان الماء الواصل الى الثار يكون غالباً عن طريق اللحاء وبما ان حركة الكالسيوم في اللحاء ضعيفة فتظهر اعراض المرض عند قلة تجهيز الكالسيوم في وسط النمو (Wiersum ، ١٩٦٦).

مما تقدم يتضح انه لضمان عدم الاصابة بهذا المرض من الضروري الاهتمام بالري والتسميد واستخدام اصناف كفوءة في استثمار الكالسيوم .

اما المرض الثاني الناتج من نقص الكالسيوم هو مرض البقع الجوفة (Cavity Spot) والذي يظهر على الجذور الخازنة للجزر والجزر الابيض . اعراض هذا المرض تظهر في البداية على صورة بقع على لحاء الجذر تحت سطح البشرة وبتقدم الاصابة تتمزق البشرة وتظهر البقع البنية والتي غالباً ماتتعرض الى اصابات ثانوية سواء فطرية كانت او بكتيرية . هذا وقد وجد Ali (١٩٨٢) ان زيادة الري تسبب الغدق وبالتالي الى زيادة شدة المرض في جذور الجزر اضافة الى ان اضافة السماد النتروجيني بصورة امونيوم شجعت ظهور المرض مقارنة بالنترات .

من الضروري التأكيد هنا الى ان استخدام تركيز الكالسيوم في الورقة كدليل على حاجة او عدم حاجة النبات لهذا العنصر فيها خطورة كبيرة مالم تكون العينة المأخوذة للتحليل ممثلة بصورة صحيحة لحالة النبات . هذا اضافة الى أن الاصناف المختلفة تختلف في حاجتها للكالسيوم ولكن ربما يكون هناك اجماع هو ان انخفاض تركيز الكالسيوم عن ٠,٨ ٪ في الورقة يسبب ظهور اعراض نقص الكالسيوم على النبات .اما في حالة الطماطة فان انخفاض تركيز الكالسيوم عن ١,٠ ٪ يسبب ظهور اعراض نقصه على النبات (Ward ، ١٩٦٣) . وبصورة عامة تظهر اعراض نقص الكالسيوم في التربة الحامضية (PH منخفض) حيث يترسب باتجاهه بجذر الكبريتات فيكون مركبات غير ذائبة هي كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$) . كما تظهر اعراض نقص الكالسيوم في التربة الرملية السريعة البزل . كما يتسبب وجود

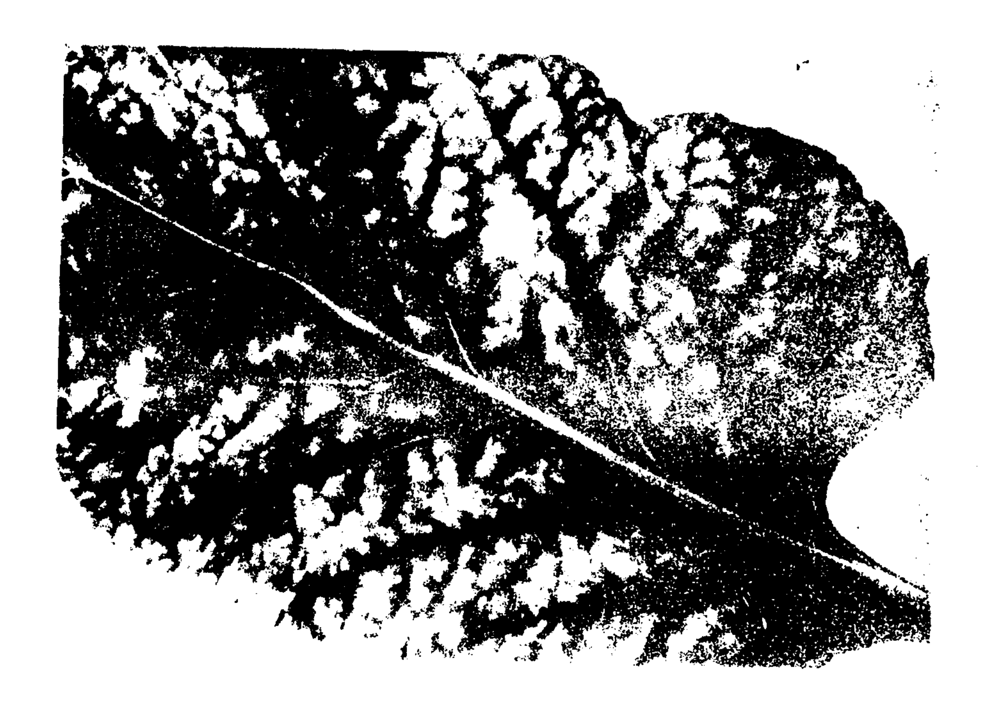
بعض الايونات الموجبة الاخرى مثل المغنيسيوم Mg^{2+} والبوتاسيوم (K^+) والصوديوم (Na^+) والامونيوم (NH_4^+) بتراكيز عالية في محلول التربة بسبب التسميد الزائد تسبب قلة في امتصاص الكالسيوم وبالتالي ظهور اعراض نقصه على النبات بالرغم من وجوده في التربة بكميات كافية للنبات . اما زيادة الكالسيوم في التربة والناتجة من التراكيز العالية لكربونات الكالسيوم أو املاح الكالسيوم الذائبة الاخرى تؤثر سلبياً على نمو النبات . ومن أهم تأثيرات اضافة الكلس ($CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, CaO) الى التربة على نمو النباتات هي انه يرفع درجة حموضة التربة (pH) ويجعل الوسط قاعدي . وبما ان جاهزية كل من الفسفور والبوتاسيوم والمنغنيز والزنك والحديد والبورون تقل في الوسط القاعدي فان اعراض نقص هذه العناصر سيظهر على النباتات . لمعالجة هذه المشكلة يمكن اضافة الاسمدة الحامضية لخفض الـ pH كما ان غسل التربة قد يفيد في مثل هذه الحالة . من ذلك يتضح ان زيادة تركيز الكالسيوم في التربة ليس له تأثير مباشر على نمو النبات وانما تأثيره غير مباشر .

خامساً : المغنيسيوم Mg

يدخل هذا العنصر في تركيب جزيئة الكلوروفيل (شكل ٤ ـ ١) ويعتبر منشط انزيمي لعدد كبير من الانزيمات بما في ذلك تلك التي تدخل في دورة تحرير الطاقة (ATP-ase) كما ان له دور فعال في ثبوتية تركيب الرايبوسومات (Tso وآخرون ، ١٩٥٧) . ويلعب المغنيسيوم دور كبير في امتصاص وانتقال الفسفور بواسطة النبات .

تظهر اعراض نقص المغنيسيوم تحت مجموعة كبيرة من الظروف المختلفة للتربة ولكن اهمها هي عند نمو النباتات في تربة حامضية (pH منخفض) أو التربة الرملية السريعة الغسل والبزل . الاعراض العامة لنقص المغنيسيوم هي ظهور تبقعات صفراء بين العروق في الاوراق القديمة وبتقدم الاصابة تتوسع هذه البقع وتتيبس الانسجة ويصبح لونها بنياً وتموت . كما انه بتقدم الاصابة تظهر التبقعات على الاوراق الحديثة ايضاً . ان هذا السلوك لظهور نقص عنصر المغنيسيوم على النبات يعود الى انه عنصر متحرك في لحاء النبات وعند حصول النقص ينتقل من الاوراق القديمة والناضجة الى الاوراق الحديثة لانها اكثر فعالية وحيوية .

اعراض نقص المغنيسيوم على نباتات الطماطة والخيار هي الاصفرار بين العروق تتوسع بتقدم الاصابة وتتيبس البقع كما ان العروق الحديثة تفقد لونها الاخضر وعندما تصبح شديدة تموت الأوراق القديمة ويصبح لون النبات اصفر فاتح وتنخفض نسبة العقد بدرجة كبيرة (صورة ٤ ـ ٣) . لغرض المعالجة السريعة لنقص المغنيسيوم يمكن رش النباتات بمحلول كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$) بتركيز ٢ الى ١٠ ٪ وقد تضاف الكبريتات الى المحلول المغذي في حالة الري بالتنقيط أو الزراعة في محاليل مائية . اما للمعالجة البعيدة الامد فيمكن اضافة كبريتات المغنيسيوم بصورة مستمرة للتربة (Embleton ، ١٩٦٦) . تظهر اعراض نقص هذا العنصر بصورة عامة عندما تنخفض نسبته في الاوراق عن ٠,٢ ٪ على اساس الوزن الجاف اما التركيز المناسب الذي يعتبر ملائم لنمو النبات بصورة طبيعية هو ٠,٣ الى ٠,٨ ٪ (Geraldson وآخرون ، ١٩٧٣) . اما في نباتات الطماطة فإن التركيز المناسب هو ٠,٤٥ ٪ وعندما ينخفض الى ٠,٣ ٪ تظهر اعراض نقصه على النباتات (Ward ، ١٩٦٣) . اما اعراض زيادة تركيز المغنيسيوم في التربة على النباتات فهي غير واضحة ويحتاج هذا الجانب الى دراسات من قبل المختصين الا ان الامر المسلم به هو ان زيادة تركيز هذا العنصر في محلول التربة تسبب ظهور اعراض نقص البوتاسيوم والكالسيوم على النبات خصوصاً عندما يكون تركيز هذين العنصرين منخفضاً في التربة وربما يعود سبب



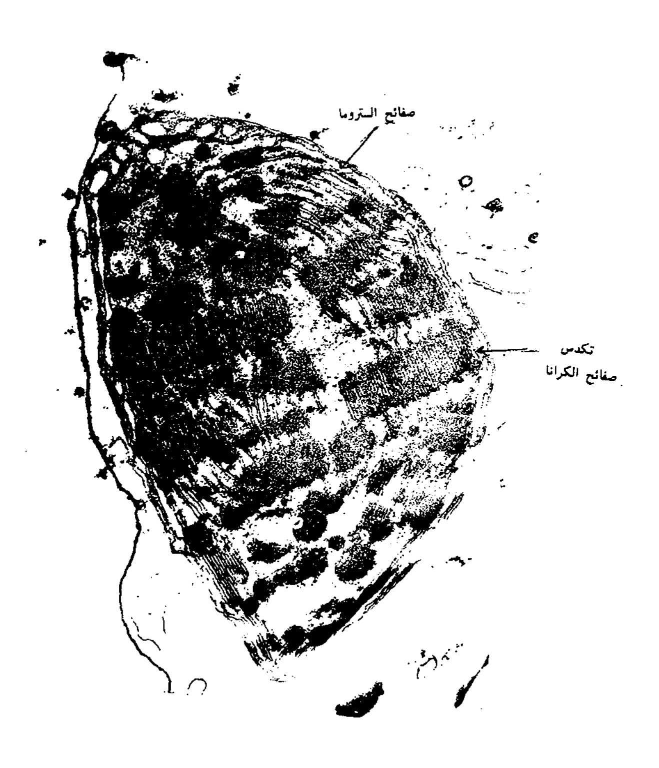
(صورة ٤ ــ ٣)
اعراض نقص المغنيسيوم على نباتات السبانغ (مأخوذ عن **Kirkby, Mengel** ، ١٩٨٧) .

ذلك الى التنافس بين المغنيسيوم وهذين العنصرين على مواقع الامتصاص في الجذور .

سادساً : الكبريت S

يدخل الكبريت في تركيب عدد من المركبات العضوية بضمنها بعض الاحماض الامينية مثل الستين والستاين والميثونين كما انه يدخل في تركيب الفيتامينات كالثايمين والبايوتين . تتباين النباتات في محتواها من الكبريت حيث ان نباتات العائلة الصليبية تحتوي على تركيز عالي من هذا العنصر (Gilbert ، ١٩٥١) . كما ان نباتات البصل والثوم تحتوي على زيوت طيارة يدخل في تركيبها الكبريت وهي التي تعطي الطعم الحريف في هذه الحاصيل . يحدث نقص الكبريت في المناطق الرطبة والغزيرة الامطار حيث يحصل غسل مستمر لهذا العنصر كما ان التربة الرملية تكون فقيرة بهذا العنصر لكونه سريع الغسل خصوصاً في الترب التي

تحتوي على نسبة قليلة جداً من المادة العضوية . اعراض نقص هذا العنصر تظهر اولاً على الاوراق الحديثة بسبب ان هذا العنصر غير متنقل في اللحاء . اما اعراض نقصه فهي مشابهة الى حد ما اعراض نقص النتروجين حيث تصبح الورقة شاحبة اللون ثم تصبح صفراء وهذا ليس غريباً اذا علمنا ان للكبريت دور فعال في تصنيع وادامة الكلوروفيل (Eaton ، ١٩٦٦) . فقد درس Hall وآخرون (١٩٧٢) تأثير نقص الكبريت على تركيب البلاستيدات الخضراء في نباتات الذرة حيث وجد ان بلاستيدات النباتات التي تعاني من نقص الكبريت اختزال فيها عدد صفائح الستروما Stroma Iamellae وزيادة في تكدس صفائح الكرانا (Grana Stacks) (شكل ٤ ــ ٤) . اعراض نقص الكبريت على الطماطة هي ان الاوراق الحديثة تنحني نحو الاسفل وتظهر عليها بقع متيبسة غير منتظمة في حين



(شكل ٤ ــ ٤) بلاستيدة خضراء لنبات الذرة تحت ظروف نقص الكبريت (مأخوذ عن **Hall** وآخرون ، ١٩٧٢) .

يصبح لون الاوراق السفلى اصفر وتظهر بقع بنفسجية اللون صغيرة بين العروق اما الساق فيصبح لونه بنفسجي ويزداد بالطول ويصبح قطره قليل وقوامه خشبي ومثل هذه النباتات يكون فيها تركيز الكربوهيدرات والنتروجين مرتفع (Nightingaleوآخرون ، ١٩٣٢) . اما في الخيار فتكون الاوراق العلوية صغيرة ومنحنية نحو الاسفل ويكون لونها اخضر مصفر والنمو ضعيف وتبقى الاوراق القديمة والناضجة صغيرة الحجم ومصفرة اللون .

ولمعالجة نقص الكبريت يمكن اضافة اي ملح يحتوي على الكبريت الى التربة وفي حالة الزراعة في نظام غير التربة يمكن اضافة كبريتات البوتاسيوم الى المحلول المغذي . حالات تسمم النباتات بسبب زيادة تركيز الكبريت نادرة الحدوث الا ان التسمم قد يحصل في الترب المحتوية على املاح الكبريت مثل كبريتات الكالسيوم (Gypsum, $CaSO_4$ $2H_2O$) أو في حالة السقي بمياه تحتوي على تركيز عالي من الكبريت . ومن اعراض سمية الكبريت للنباتات هي ظهور بقع متيبسة في اطراف الاوراق خصوصاً الاوراق القديمة والناضجة (Eaton ، ١٩٦٦) .

سابعاً : الحديد Fe

للحديد اهمية كبيرة في فسلجة النبات حيث انه جزء هام من السايتوكرومات (Cytochromes) حيث يعمل على نقل الالكترونات في تفاعلات الضوء في عملية التركيب الضوئي وكذلك في الانسياب الالكتروني في المايتوكوندريا وأيضاً الى الفيرودكسن Ferredoxin في عملية التنفس ويرجع ذلك الى قابليته على اكتساب وفقد الالكترونات (الاكسدة والاختزال) . كما انه مهم في تشجيع انزيمات اختزال النترات وبعض الانزيمات الاخرى . وبالرغم من ان للحديد دور اساسي في تمثيل وتحلل الكلوروفيل الا ان دوره غير معروف بالضبط (Nason وMcEloroy ، ١٩٦٣) . وقد وجد ان نقص الحديد يسبب تبعثر مجاميع الكرانا في البلاستيدة الخضراء . نقص هذا العنصر يحصل في الترب الكلسية والترب القاعدية حيث ان جاهزيته تنخفض في مثل هذه الترب حيث يترسب بشكل مركبات معقدة على هيئة كاربونات أو هيدروكسيدات وبعض الاحيان فوسفات الحديد .

اعراض النقص العامة هي تلون الاوراق باللون الاصفر على هيئة بقع صفراء بين العروق مشابهة الى تلك التي ظهرت في حالة نقص المغنيسيوم الا انها تظهر على الاوراق الحديثة وبتقدم الاصابة تظهر الاعراض على الاوراق القديمة والناضجة ايضاً . اعراض نقص الحديد على نباتات الطماطة تظهر على الاوراق الحديثة حيث

تكون بشكل بقع صفراء في اطراف الورقة تمتد نحو قاعدة الورقة وتبقى العروق خضراء الا انه عند تقدم الاصابة تصبح الاوراق صفراء ولا تكون هناك بقع متيبسة وهذه الاعراض تظهر على نباتات الخيار ايضاً عند تعرضها لنقص الحديد (شكل ٤ ـ ٥) . اما الحاصل فيكون قليل جداً وذلك يعود اساساً الى انخفاض نسبة العقد في الثار بسبب نقص الحديد .



(شكل ٤ ـ ٥)
نباتات الطماطة المعاملة بمحلول مغذي محذوف منه الحديد ثم اضيف الحديد المشع Fe^{59} واخذت لها صورة بالاشعة **(auto radiograph)** فيلاحظ اللون الشاحب في الورقة اليمنى بعد اضافة الحديد المشع (مأخوذ عن **Epstein** ، ١٩٧٢) .

ولمعالجة نقص الحديد يمكن رش النباتات بالحديد المخلوب بشكل Fe-EDTA بتركيز ٠,٠٢ الى ٠,٠٥ ٪ كل ٣ ـ ٤ ايام وقد يضاف الحديد المخلوب الى التربة أو المحلول المغذي . يتراوح تركيز الحديد في انسجة النباتات بين ٢٥ الى ٥٠٠ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف وهذا التفاوت يعتمد على نوع النبات غير ان ١٠٠ جزء في المليون من الحديد في انسجة النبات تعتبر مناسبة لضمان النمو الطبيعي لتلك النباتات . وبسبب التباين الكبير في تركيز الحديد في انسجة النباتات فان زيادة تركيزه نادراً ماتسبب سمية للنباتات الا ان هناك دلائل تؤكد على ان زيادة تركيز الحديد خصوصاً عند رش النباتات بالحديد المخلوب على

النباتات تظهر اعراض السمية بشكل بقع متيبسة بنية اللون على الاوراق القديمة وتكون محاطة باللون البنفسجي .

ثامناً : المنغنيز Mn

للمنغنيز اهمية كبيرة في فسلجة النبات حيث انه مرافق انزيمي في انزيمات تفاعلات الضوء في عملية التركيب الضوئي كما انه منشط انزيمي لبعض الانزيمات الاخرى مثل الـ RNA-Polymerase و الـ IAA-Oxidase .

تتعرض النباتات الى نقص المنغنيز عندما يكون pH التربة اعلى من ٦,٨ ويعود ذلك الى اكسدة المنغنيز الثنائي الشحنة (Mn^{2+}) السهل الذوبان في الماء الى المنغنيز ثلاثي الشحنة (Mn^{3+}) الغير ذائب وبالتالي الغير جاهز للنبات . اعراض نقص المنغنيز تظهر عموماً على الاوراق الحديثة بشكل بقع خضراء فاتحة بين العروق . نقص الكلوروفيل يزداد بزيادة نقص هذا العنصر الا انه لايصل الى درجة نقص الحديد الشديد وفي اغلب الاحيان من الصعب التمييز بين الاصفرار الناتج من نقص المنغنيز ونقص الحديد . وللتمييز بين نقص الحديد والمنغنيز هو انه في حالة نقص الحديد تبقى عروق الورقة خضراء اما في حالة نقص المنغنيز فتشمل البقع المصفرة حتى العروق وتكون الا شرطة الصفراء متقطعة بينما في حالة نقص الحديد تكون متصلة . وقد تظهر اعراض نقص المنغنيز على الاوراق القديمة اعتماداً على نوع النبات . فاعراض نقص المنغنيز على نباتات الطماطة هي ان الاوراق السفلية والوسطية على ساق النبات تظهر عليها بقع صفراء بين العروق في حين تبقى العروق خضراء وبتقدم الاصابة تنشأ بعض البقع المتيبسة .

اما اعراض نقص المنغنيز على الخيار فهي نشوء بقع مصفرة على الاوراق الحديثة وتبقى العروق خضراء . وبتقدم الاصابة لنقص هذا العنصر تفقد العروق لونها الاخضر ماعدا العرق الرئيسي كما ان الاوراق القديمة تتحول الى اللون الاخضر الفاتح . مظهر النبات بشكل عام ضعيف النمو وتبقى الاوراق الحديثة صغيرة .

لمعالجة نقص هذا العنصر هو رش النباتات بكبريتات المنغنيز بتركيز ٠,١ الى ١ ٪ أو قد يضاف هذا المركب الى المحلول المغذي في حالة الزراعة بدون استخدام التربة . تركيز هذا العنصر في اوراق الخضروات يختلف كثيراً من نبات الى اخر الا انه يمكن ان تتوقع ظهور اعراض نقص هذا العنصر عندما تحتوي الاوراق على تركيز اقل من ٥٠ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف .

زيادة تركيز هذا العنصر خصوصاً في الترب الحامضية حيث تزداد جاهزيته يسبب سمية للنباتات . واعراض سمية المنغنيز تظهر بشكل انخفاض كبير في نمو النبات واصفرار وتيبس اطراف الاوراق غالباً ماتتداخل اعراض سمية الحديد والالمنيوم تحت نفس الظروف (التربة الحامضية) مع اعراض سمية المنغنيز . كما وتتداخل اعراض سمية المنغنيز مع نقص الفسفور والكالسيوم والمغنيسيوم لذلك يجب التريث في اتخاذ اي اجراء لحين التأكد ومن خلال تقدير مستويات العناصر في اوراق النباتات التي ظهرت عليها الاعراض .

تاسعاً : الزنك Zn

هذا العنصر مهم في تمثيل منظم النمو اندول حامض الخليك (IAA) كما انه يمنع من اكسدته . وقد وجد انه يؤثر على تصنيع الحامض الاميني التريبتوفان (Tryptophan) الذي يعتبر المصدر الاساسي لتصنيع الاندول حامض الخليك . فقد لاحظ Skoog (١٩٤٠) ان نقص الزنك سبب خفضاً لمستوى الاندول حامض الخليك في نباتات الطماطة . يدخل الزنك في تركيب عدد كبير من الانزيمات مثل انزيم الكحول ديهيدروجينيز (Alcohol dehydrogenase) وانزيم البيريدين نيوكليوتايد ديهيدروجينيز(Pyridinc nucleytid dehydrogenase) . كما ينشط عدد من انزيمات نقل وانتاج الطاقة مثل الهكسوس كاينيز (Hexose Kinase) كما ان نقص هذا العنصر يسبب تراكم المركبات النتروجينية الذائبة كالاحماض الامينية والاميدات (Possingham ، ١٩٥٦) . اعراض نقص الزنك تظهر تحت ظروف مختلفة من التربة حيث ان النباتات النامية في تربة حامضية او قاعدية تظهر عليها اعراض نقص هذا العنصر . كما ان الترب الرملية السريعة البزل وفي بعض الترب ذات المحتوي العالي من المادة العضوية تكون جاهزية الزنك قليلة حيث يتحد الزنك مع المادة العضوية فيكون مركبات معقدة غير جاهزة للنبات . اعراض نقص هذا العنصر تعتمد كثيراً على صنف ونوع النباتات بصورة عامة فان نقص الزنك يسبب قصر السلاميات وظهور بقع مصفرة على الاوراق القديمة وقد تظهر اعراض النقص على الاوراق الحديثة ايضاً . ان سبب قصر سلاميات النباتات التي تعاني من نقص الزنك هو قلة انتاج منظم النمو الاندول حامض الخليك . اما سبب اصفرار الاوراق التي تعاني من نقص الزنك يعود الى زيادة نفاذية اغشية الخلايا في تلك النباتات . اعراض نقص هذا العنصر على الطماطة هي ان الاوراق الحديثة او الناضجة تكون صغيرة الحجم وذات بقع صفراء ونشوء بقع بنية على الاوراق وتنحني الورقة نحو الاسفل . اما في نباتات الخيار فتظهر تبقعات خضراء وصفراء بين العروق تتقدم من الاوراق القديمة نحو الاوراق

الحديثة كما ان السلاميات في قمة النبات تتوقف عن الاستطالة والنمو مما يجعل الاوراق متقاربة والنبات ذات مظهر شجيري . للمعالجة يمكن رش النباتات بكبريتات الزنك بتركيز ٠,١ الى ٠,٥ ٪ او قد يضاف الزنك المخلوب الى التربة ايضاً . هذا علماً بان تركيز الزنك الملائم لنمو النباتات يجب ان لايقل عن ٢٠ جزء في المليون في الاوراق على اساس الوزن الجاف . اما زيادة تركيز الزنك فانها نادراً ماتسبب مشكلة لنمو النبات الا انه في المناطق الصناعية او في المناطق التي يضاف فيها الزنك بتراكيز عالية قد تسبب سمية . ومن اهم اعراض زيادة الزنك هو ظهور اعراض نقص الحديد (Mortvedt و Cunningham ، ١٩٧١) . هذا وقد صنفت الخضروات على اساس مدى استجابتها الى التغذية بالزنك فمثلاً تعتبر الفاصوليا والذرة الحلوة حساسة لنقص الزنك في حين ان الطماطة والبصل تعتبران متوسطي الحساسية لنقص الزنك اما البازلاء والجزر والمليون فهي محاصيل غير حساسة لنقص الزنك (Polson ، ١٩٧٠) .

عاشراً : النحاس Cu

يحتاج النبات هذا العنصر في عملية التمثيل الضوئي كناقل للالكترونات (اكسدة واختزال) ويدخل في تركيب بعض الانزيمات خصوصاً انزيم البولي فينول اوكسيديز (Polyphphenel oxidase) وربما انزيم النايتريت ريدكتيز (Nitrate reductase) .

تظهر اعراض نقص النحاس على النباتات النامية في الترب العضوية أو الترب الحامضية أو الترب القاعدية أو الكلسية أو الترب الخفيفة السريعة البزل . في هذه الترب اما ان يكون النحاس قليل الجاهزية للنبات أو سريع الغسل وفي كلتا الحالتين تظهر اعراض نفصه على النباتات . اعراض نقص هذا العنصر تظهر على الاوراق الحديثة حيث تذبل القمة النامية وتصفر ثم تتيبس الاوراق . الاوراق الطبيعية التي لاتعاني من نقص النحاس تحتوي في انسجتها على حوالي ٦ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف (Labanauskas, Reuther ، ١٩٦٦) .

نقص النحاس على البصل له اعراض خاصة حيث تكون الاوراق الحرشفية الخارجية في البصلة رقيقة وذات لون اصفر خفيف ويعتقد ان هذا اللون يعود الى نقــص النحــاس الــذي ينشط انزيم الفينول لوكسيــديز (Phenol oxidase) (Knott ، ١٩٣١) . اما نقص النحاس على الطماطة فان الاوراق الحديثة والوسطية تلتف حوافها نحو الداخل ولا يظهر اصفرار أو تيبس على تلك الاوراق لكن اللون يصبح اخضر مزرق والاوراق في القمة النامية تكون صغيرة وملتفة .

اما النبات فيظهر متقزم وبتقدم الاصابة تظهر بقع متيبسة على المناطق المتاخمة للعرق الوسطي . اما في نباتات الخيار فان الاوراق الحديثة تبقى صغيرة ونمو النبات محدود وسلامياته قصيره وظاهرة الالتفاف على الاوراق القديمة مشابهة لما في الطماطة .

لمعالجة نقص النحاس يمكن اضافة كبريتات النحاس الى التربة أو المحلول المغذي (في حالة الزراعة بدون تربة) أو ان ترش النباتات بكبريتات النحاس $CuSO_4$. $5H_2O$) بتركيز ٠,١ الى ٠,٢ ٪ . لاتوجد اعراض معينة لزيادة النحاس الا ان زيادة تركيزه تسبب ظهور اعراض نقص الحديد .

حادي عشر : البورون B

دور البورون في النبات غير معروف لحد الآن الا انه يعتقد انه يؤثر على انتقال الكربوهيدرات في اللحاء . ولاختبار هذه الفرضية استخدم Sisler وآخرون (١٩٥٦) السكروز ذات الكاربون المشع (^{14}C) فوجدوا ان انتقال السكريات كان محدود جداً عند تعرض النباتات الى نقص البورون . ان دور البورون في انتقال السكريات يعتقد انه من خلال اتحاد ايون البورات مع المركبات السكرية فيكون معقد سهل الحركة والانتقال عبر الاغشية الخلوية . ان اعراض نقص البورون هي موت القمة النامية وتساقط الازهار وهذه الاجزاء النباتية تعتبر ذات فعالية حيوية عالية لذلك استنتج ان موت هذه الاجزاء سببه قلة ورود السكريات المصنعة في الاوراق اليها بسبب نقص هذا العنصر .

اعراض نقص البورون تظهر على الخضروات الحساسة لنقصه أو تلك التي تحتاجه بكميات كبيرة نسبياً خصوصاً عندما تزرع في تربة حامضية فقيرة بالبورون أو في تربة عضوية أو قاعدية غير محتوية على الكلس أو تربة رملية سريعة البزل .

اعراض نقص البورون تظهر في مواقع مشابهة لاعراض نقص الكالسيوم حيث تظهر في القمم النامية وفي الاجزاء الخازنة . الاعراض العامة لنقص هذا العنصر على النمو الخضري هي تيبس الاوراق الحديثة يتبعه تيبس وموت القمة النامية . اما اعراض نقصه على الاجزاء الخازنة فتعتمد على النوع النباتي وفيما يلي استعراض لقسم منها :

١ ـ الساق المجوف (Hollow stem)

يظهر هذا المرض في القرنابيط واللهانة وسببه نقص البورون . عندما يكون النقص بسيط قد لايتأثر المحصول من الناحية التسويقية الا انه عند اعادة زراعة

تلك الارض بنفس المحصول دون اضافة البورون ستكون اعراض النقص شديدة مما يؤدي الى فقدان نسبة كبيرة من المحصول .

٢ ـ القلب البني في اللفت (Brown-heart of Turnip)

تظهر الاعراض في بداية الامر على هيئة بقع مائية والتي سرعان ما تتيبس وتموت وتكتسب اللون البني بسبب اكسدة المواد الفينولية . كما يظهر مرض تلون القلب الاسود في البنجر (canker of Beats or Black-heart) حيث يكون التلون الاسود داخل أو خارج الجذر الخازن في البنجر سببه نقص البورون ايضا .

٣ ـ مرض تكسر ساق الكرفس (Cracked stem of Celery)

تظهر الاعراض على هيئة تكسر في الحزم الوعائية في اعناق الاوراق والساق في الكرفس الاجني وذلك ينتج عن نقص تثخن جدران الخلايا الدعامية (Collenchyma cells) وكذلك نقص سليلوز الطبقة الوسطية .

٤ ـ الحجيرات المفتوحة في الطماطة (Open Iocules in Tomato)

اعراض هذا المرض هي ان الحجيرات في منطقة اتصال الثمرة بالساق تكون مفتوحة سببها نقص البورون خصوصاً عندما يكون تركيزه في الثمار ٦ جزء في المليون وفي الاوراق ١٥ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف . اما اعراض نقص البورون على اوراق الطماطة هي توقف نمو القمة النامية وموتها وتيبسها كما يظهر اصفرار بين العروق في الاوراق العليا وتصبح اعناق الاوراق هشة وسهلة الكسر .

اما في الخيار فتظهر اعراض نقص البورون على النباتات بالتفاف الاوراق نحو الاعلى وتوقف نمو الاوراق في القمة النامية فتبقى صغيرة وباشتداد الاصابة تموت هذه الاوراق . كما ان البراعم الجانبية تموت ايضاً في حين تلتف الاوراق القديمة نحو الاعلى .

ولمعالجة نقص البورون من الضروري رش النباتات باسرع مايمكن بالبوراكس بتركيز ٠,١ الى ٠,٢٥ ٪ او قد يضاف الى المحلول المغذي مباشرة في حالة الزراعة بدون تربة . كما ان من الضروري استخدام اصناف غير حساسة لنقص البورون . وقد وجد Wall و Andrus (١٩٦٢) انه توجد اصناف من الطماطة ذات حساسية قليلة لنقص هذا المنصر . اما اعراض سمية البورون التي تظهر على

النباتات في المناطق الجافة وشبه الجافة خصوصاً عندما لايكون هناك بزل وان التربة الام حاوية على تراكيز مرتفعة منه . كما ان ري النباتات بماء يحتوي على تراكيز مرتفعة من البورون يسبب ظهور اعراض السمية عليها ايضاً . واعراض السمية هي تيبس وموت طرف وحواف الورقة ثم تيبسها بالكامل . وقد لوحظ ان انواع النباتات تختلف في مقاومتها للبورون فالبنجر والخرشوف والهليون تعتبر نباتات مقاومة لزيادة تركيز البورون في حين ان البزاليا والفاصوليا ليما والبطاطا الحلوة والبصل والجزر والفلفل والبطاطا واللهانة والفجل والكرفس والخس والطماطة تعتبر متوسطة المقاومة لزيادة البورون اما خرشوف القدس والفاصوليا تعتبر حساسة جداً لزيادة هذا العنصر .

ثاني عشر الموليدنم Mo

يعمل المولبدنم على نقل الالكترونات في عملية تحول النترات الى امونيا كما انه مهم في عملية تثبيت النتروجين ويعتقد ان للمولبدنم دور فعال في تمثيل الفسفور لكن ميكانيكية هذا الدور غير معروفة . وقد لاحظ Hewitt وآخرون (١٩٥٠) ان نقص المولبدنم سبب انخفاضاً حاداً في حامض الاسكوربيك (فيتامين C) اضافة الى انه سبب تشوه البلاستيدأت الخضراء .

تظهر اعراض نقص المولبدنم على الخضروات النامية في الترب الحامضية (pH منخفض) حيث المولبدنم غير جاهز للنبات وكذلك في الترب التي يكون فيها هذا العنصر مثبت مع معادن اخرى او في الترب القاعدية الجيدة الصرف . ومن خلال التحليلات المختبرية لانسجة النباتات لوحظ ان النترات تتراكم عندما تتعرض النباتات الى نقص هذا العنصر . ويعود ذلك الى فشل عملية اختزال النترات وعدم تحولها الى امونيا لتتحد مع الاحماض العضوية وتكوين الاحماض الامينية . ومن اعراض نقص المولبدنم هي اصفرار الاوراق القديمة وتيبس وموت حواف الاوراق كلما ازداد تركيز النترات . وتظهر نفس الاعراض على الاوراق الحديثة كلما تقدم عمر النبات تحت ظروف نقص المولبدنم . فاعراض نقص المولبدنم على القرنابيط تختلف عن بقية النباتات حيث ان نصل الورقة يتوقف عن النمو وتصبح نهاية الورقة ذات شكل سوطي مكون من العرق الوسطي فقط لذلك سمي هذا المرض بالذيل السوطي (Whiptail) . ومن خلال الدراسات لوحظ ان انخفاض تركيز المولبدنم عن ٠,٢ جزء في المليون على اساس الوزن الجاف يسبب ظهور اعراض نقصه على النبات (Johnson ١٩٦٦) .

اما بالنسبة الى اعراض نقص المولبدنم على نباتات الطماطة هي اصفرار الاوراق كافة والتفاف حوافها نحو الاعلى وتظهر بقع ميتة ومتيبسة خصوصاً في الورقيات الطرفية ثم سرعان ماتتوسع هذه البقع لتشمل كل الورقة حيث تتمزق وتتساقط الوريقات وعند اشتداد الاصابة تظهر الاعراض على الاوراق الحديثة ايضاً وقد تموت النباتات . اما في حالات النقص المعتدل للمولبدنم فان الازهار وحمل الثمار ينخفضان بصورة ملحوظة .

اما اعراض نقص المولبدنم في الخيار فتظهر بشكل بقع صفراء على الاوراق القديمة وسرعان ماتمتد نحو الاوراق الحديثة ويحصل الالتفاف في حواف الاوراق مشابه لما يحصل في اوراق الطماطة الا ان الاوراق الحديثة جداً تبقى خضراء ونمو النبات يكون طبيعي في حين الازهار تكون صغيرة .

ولمعالجة نقص المولبدنم في الترب الحامضية من الضروري رفع درجة حموضة التربة باضافة الكلس اما في الترب الفقيرة بعنصر المولبدنم فتضاف مولبدات الصوديوم بمعدل ٠,٥ الى ١ كغم/ ايكر أو ترش نفس المادة بتركيز ٠,٠٧ الى ٠,١ ٪ وقد وجد ايضاً ان معاملة البذور بهذا المركب اعطت نتائج جيدة في معالجة نقص هذا العنصر لبعض الحاصيل . اما زيادة عنصر المولبدنم بالتربة لن تسبب مشاكل كبيرة الا في حالة التراكيز المرتفعة جداً (Johnson ، ١٩٦٦) .

ثالث عشر : الكلور Cl

يحتاج النبات الى الكلور في عملية التمثيل الضوئي حيث يعمل كمنشط انزيمي خصوصاً في عملية تحرير الاوكسجين من الماء في سلسلة تفاعلات الضوء . كما ان له تأثير في موازنة الايونات خصوصاً عند انتقال البوتاسيوم الى خلايا الثغور حيث ينتقل الكلور الى الخلايا الحارسة لمعادلة الزيادة في الشحنة الموجبة الناتجة من تراكم البوتاسيوم .

نقص الكلور نادراً مايحدث أو يظهر على النباتات وذلك بسبب امكانية حصول النباتات عليه من المحيط الجوي وكذلك من الاسمدة المضافة حيث يدخل في تركيب كثير من الاسمدة الكيمياوية . ولكن عند حصول نقص الكلور تذبل الاوراق ويتوقف نموها كبداية لاعراض النقص وفي حالات النقص الشديد تصفر الاوراق وتتيبس اضافة الى تلون الانسجة المتاخمة باللون البرونزي . كما ان هناك دلائل تشير الى ان نقص الكلور يسبب زيادة في تفرعات المجموع الجذري الا ان نموه يكون محدود (Eaton ١٩٦٦) . ويعتقد انه عندما ينخفض تركيز الكلور في الاوراق عن ١٠٠ جزء في المليون تظهر اعراض نقصه .

ان المشاكل التي تحصل بسبب زيادة تركيز الكلور هي اكثر من تلك الناجمة عن نقصه بكثير حيث ان المناطق الساحلية والمناطق القليلة الامطار أو السيئة الصرف أو المناطق المروية بماء فيه تركيز مرتفع من الكلور تسبب ظهور اعراض سمية على النباتات النامية فيها . ولمعالجة هذه المشكلة يمكن غسل التربة بماء ذو تركيز منخفض من الكلور . اعراض سمية الكلور للنباتات هي ضعف النمو وتيبس اطراف الاوراق وتساقطها . هذا وقد قسمت الخضراوات من حيث مقاومتها لزيادة تركيز الكلور الى محاصيل مقاومة مثل البنجر والسبانغ والهليون في حين يعتبر الخس والفاصوليا والبطاطا محاصيل حساسة لزيادة تركيز هذا العنصر .

Refernces

Ali, N.S. Effects of nitrogen fertilizer, caliium carbonate and water reqime on yield, chemical composition and incidence of cavity spot of carrots (**Daucus carota**) M.Sc. Thesis, Lincoln College, University of Canterbury, NewZealand (1982).

1- Al-Sahaf, F.H., The éffect of root con-finement and calcium stress on the physiology, morphology and cation nutrion in tomatoes (**Lycopersicon esculentum** Mill). PH. D. Thesis, Lincoln college, University of canterbury, New Zealand (1984).

2- Arnon, D.I., and Hoagland, D.R., Composition of the tomato plants as influenced by nutrient supply in relation to fruiting. The Botanical Gazette 104: 576-590 (1943).

3- Bangerth, F., Calcium-related physiological disorders of plants. Annual Review of Plant Physiology 17: 97-122 (1979).

4- Bidwell, R.G.S., Plant Physiology. 2nd ed. Macmillan Publishing Co. New York (1979).

5- Cerda, A., Bingham, F.T., and Labanauskas, C.K., Blossom-end rot of tomato fruit as influenced by osmotic potential and Phosphorus concentrations of nutrient solution media Journal of American Society for Horticultural Science 104: 236-239 (1979).

6- DeKock, P.C., Hall, A., Inkson, R.H.E., and Robertson, R.A., Blossom-end rot in tomato. Journal of the Science of Food and Agriculture 30: 508-514 (1979).

7- DeKock, PC., Inkson, R.H.E., and Hall, A., Blossom-end rot of tomato as influenced by truss size, Journal of Plant Nutrition 5: 57-62 (1982).

8- Eaton, F.M., Chlorine. P. 98-135. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils., H.D. Chapman ed., University of California, Division of Agricultu-ral Sciences (1966).

9- Eaton, F.M., Sulfur. P. 444-475. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. H.D. Chapman ed., Universits of California, Division of Agricultu-ral Sciences. (1966).

10- Embleton, T.W., Magnesium. P. 225-263. In: Diagnostic criteria for

plants and soils. H.D. Chapman ed., University of California, Division of Agriculu-ral Sciences. (1966).

11- Epstein, E., Mineral nutrition of plant: Principles and perspectives. John Wiley and Sons. Inc., New York (1972).

12- Evans, H.J., and Sorger, G.J., Role of mineral elements with emphasis on the Univalent cations. Annual Review of Plant Physiology 17: 47-76 (1966).

13- Evans, H.J., and Troxler, R.V., Relation of calcium nutrition to the incidence of blossom end rot in tomatoes.
American Society for Horticultural Science Proceedings 61: 346-352 (1953).

14- Florell, C., The influence of calcium on root mitochondria. Physiologia Plant-arum 9: 236 (1956).

15- Florell, C., Calcium, mitochondria and anion uptake. Physiologia Plantarum 10: 781 (1957).

16- Forster, H., Relationship between the nutrition and the appearance of "Greenback" and "Blossom-end rot" in tomato fruits. Acta Horticulturae 29: 319-326 (1973).

17- Gilbert, F.A., The place of sulfur in plant nutrition. The Botanical Rev-iew 17: 671 (1951).

18- Hall, J.D., Barr, R., Al-Abbas, A.H. and Crane, F.I., The ultrastructure of chloroplasts in mineral-deficient maize leaves. Plant Physiology 50; 404 (1972).

19- Hecht-Buchholz, CH., Calcium deficiency and plant ultrastucture. Communica-tions in Soil Science and Plant Agricutural 10: 67-81 (1979).

20- Hewitt, E.J., Agarwala, and Jones, E.W., Effect of molybdenum status on the assorbic acid content of plants in sand culture 166: 1119 (1950).

21- Hyde, B.B., and Paliwal, R.L., Studies on the role of cations in the structure and behaviour of plant chromosom-es. American Journal of Botany 45: 433 (1958).

22- Johnson, C.M., Molybdenum. P. 286-301. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils., H.D. Chapman ed., University of California, Division of Agricutural Sciences (1966).

23- Kondo, T., Supply of fertilizer solution for tomato plants. Bulletin of the Horticultural Research station B (Okitsu) 12: 181-206 (1972).

24- Lotfy, E., Effect of differnet nitrogen form and calcium levels in nutrient solution on growth and yield of tomato plants (**Lycopersicon esculenum** Mill.) . M. Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Baghdad, Iraq (1986).

25- Maynard, D.N., Lorenz, O.A., and Magnifico V., Growth and ploassium partitioning in tomato. Journal of American Society for Horticultural Science 105: 79-82 (1980).

26- Mengel, K., and Viro, M., Effect of potassium supply on the transport of photo-synthates to the fruits of tomatoes (**Lycopersicon esculentum**). Physiologia Plantarum 30: 295-300 (1974).

27- Nasòn, A., and McElory, W.D., Modes of action of the essential elements. In F.C. Stward, Plant Physiology, Academic Press, New York (1963).

28- O'Sullivan, J., Gabelman, W.H., and Gerloff, G.C., Variations in efficiency of nitrogen utilization in tomatoes (**Lycopersicon esculentum** Mill.) grown under nitrogen stress. Journal of American Society for Horticultural Science 99: 543-547 (1974).

29- Palzkill, D.A., and Tibbitts, T.W., Evidence that root Prussure flow is required for calcium transport to head leaves of cabbage. Plant Physiology 60: 854-856 (1977).

30- Palzkill, D.A., Tibbitts, T.W. and Williams, P.H., Enhancement of calcium transport to inner leaves of cabbage for prevention of tipburn. Journal of American Society for Horticultural Science 101: 645-648 (1976).

31- Pill, W.G., Lambeth, V.N. and Hinckley, T.M., Effects of nitrogen form and level on ion concentrations, water stress, and blossom-end rot incidence in tomato. Journal of American Society for Horticultural Science 103: 265-268 (1978).

32- Polson, D.E., and Adams, M.W., Differential Response of navy beans (**Phaseolus vulgaris** L.) to Zinc. I. Differential growth and elemental compsition at exessive Zn leavels. Agronomy Journal 62: 557-560 (1970).

33- Possingham, J.V., The effect of mineral nutrition on the content of free amino acids and amides in tomato plants. I. Acomparison of effects of deficiencies of copper, Zinc, manganese, iron and molybdenum. Australian Bilogical Sciences 9: 539 (1956).

34- Reuther, W., and Labanauskas, C.K. Copper. P. 157-179. In: Diagnostic Criteria for plants and soils. H.D. Chapman ed., University of California, Divsion of Agricultural Sciences (1966).

35- Shear, C.B., Calcium-related disorders of fruits and vegetables. Hort Science 10: 361-365 (1975).

36- Sisler, E.C., Dugger, W.M. and Gauch, H.G., The role of boron in the trans-location of organic compounds in plants. Plant Physiology 31: 11 (1956).

37- Skoog, F., Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. American Journal of Botany 27: 939 (1940).

38- Tibbitts, T.W., and Palzkill, D.A., Requirement for root-pressure flow to provide adequate calcium to low-transpiring tissue. Communieations in Soil Science and Plant Analysis 10: 251-257 (1979).

39- Tso, P.O.P., Bonner, J., and Vinograd, J. Physical and chmical Properties of microsomal particles from pea seedlings. Plant Physiology supplent 32: X II.

40- Ulrich, A., and Ohki, K., Potassium. P. 362-393. In: Diagnostic Criteria for plants and soils. H.D. Chapman ed., University of California, Division of Agricultural Sciences. (1966).

41- Van Goor, B.J., Influences of restricted water supply on blossom-end rot and ionic composition of tomatoes grown in nutrient solution. Communications in Soii Science and Plant Analysis 5: 13-24 (1974).

42- Walls, J.R., and Andrus, C.F., The inhevitance and physiology of boron response in the tomato. American Journal of Botany 49: 758-762 (1962).

43- Ward, G.M., The application of tissue analysis to glasshouse tomato nutrition. American Society for Horticultural Science Proceedings 83: 695-699 (1963).

44- Ward, G.M., Causes of blossom end rot of tomatoes based on tissue analysis. Canadian Journal of Plant Science 53: 169-174 (1973).

45- Whiteaker, G., Gerloff, G.C., Gabelman, W.H. and Lindgren, D., Intraspecific differnces in growth of beans in stress levels of phosphorus. Horticultural Science 101: 472-475 (1976).

46- Wiersum, L.K., Calcium content of fruits and storage tissues in relation to the mode of water supply. Acta Botanica Neerlandica 15: 406-418 (1966).

الفصل الخامس

المحاليل الغذائية : انواعها وطرق تحضيرها

المقدمة :

بصورة عامة تجهز العناصر المعدنية للنباتات في حالة الزراعة بدون تربة عن طريق اضافتها الى الماء على هيئة املاح مذابة وهذا مايسمى بالمحلول المغذى (Nutrient Solution) . ومن خلال البحوث المستمرة تمكنت عدة شركات عالمية ومؤسسات بحثية في اقطار مختلفة من انتاج انواع عديدة من المحاليل المغذية واقترحت عدة وصفات لتحضيرها . الا ان هذه المحاليل في اغلب الاحيان تختلف فيما بينها حتى تلك التي استخدمت لنفس النبات وتعود اسباب هذه الاختلافات الى اسعار وتوفر المواد الكيمياوية في الاسواق والظروف البيئية السائدة وغيرها من العوامل . اما كيف تنمو النباتات في مثل هذه المحاليل المختلفة التركيب فيعود الى قابليتها العالية على التأقلم للعيش في مدى واسع من تراكيز العناصر المعدنية وهذا السلوك للنباتات حالة طبيعية حيث يمكنها العيش في ترب مختلفة من حيث النسجة والتركيب الكيمياوي وغيرها من عوامل التربة في حالة الزراعة الاعتيادية في التربة . فمعظم الدراسات التفصيلية حول نوعية وتركيز العناصر المعدنية في المحلول المغذى شملت نباتات معينة دون غيرها . ففي الاربعين سنة الاخيرة تركزت البحوث على الطماطة والخيار وبعض محاصيل الخضروات الاخرى التي تنتج تحت ظروف البيئة المحمية وبذلك فقد انتشرت الزراعة بدون تربة بأستخدام هذه المحاصيل .

وكما هو معروف ان الاحتياجات الغذائية لكل نوع من انواع النباتات تختلف عن النوع الاخر لذلك فان المنتج (المزارع) يود التعرف على افضل تركيب

كيمياوي للمحلول المغذى الذي يلائم النمو الطبيعي للمحصول ورفع كفاءة انتاج هذه النباتات وبالتالي زيادة المردود الاقتصادي . كما انه يود الحصول على معلومات كافية عن المركبات الكيمياوية البديلة في حالة فقدانه احد الاملاح المكونة للمحلول المغذى من السوق . اما الجانب الاخر فهو ان المواد الكيمياوية المستخدمة يجب الا تحتوي على شوائب او مركبات كيمياوية ذات تأثير سمي .

النقاط الواجب مراعاتها عند تحضير المحلول المغذى :

ان كمية ونوعية الاملاح التي تستخدم في تحضير المحلول المغذى تعتمد على عوامل عديدة هي : ـ

اولاً : التوازن بين عدد الشحنات الموجبة والسالبة :

بهدف تهيئة محلول مغذى متوازن من الناحية الكهربائية يجب ان يكون عدد الايونات الموجبة الشحنة مساوي لعدد الايونات السالبة الشحنة لذلك من الضروري جدا اعتماد نوع الملح او تركيبه الكيمياوي لتحديد هذه الصفة . عند اذابة ملح نترات البوتاسيوم (KNO_3) مثلا ينتج عنه جزىء واحد من البوتاسيوم (K^+) والنترات (NO_3^-) في حين انه عند اذابة نترات الكالسيوم ($Ca(NO_3)_2$) ينتج عنه تحرر جزئيتين نترات ($2NO_3^-$) وجزيئة كالسيوم واحدة (Ca^{2+}) . فاذا اردنا تجهيز النباتات بكمية من النترات مع عدد قليل من الايونات الموجبة يجب استخدام ملح نترات الكالسيوم وبذلك يمكن للنبات ان يحصل على كمية من النترات من هذا الملح تعادل ضعف كميتها تقريبا عند استخدام نفس الوزن من ملح نترات البوتاسيوم .

ثانياً : قابلية ذوبان الاملاح في الماء :

تختلف الاملاح المستخدمة في تحضير المحلول المغذى في قابليتها على الذوبان في الماء . ففي حالة الاملاح البطيئة الذوبان في الماء فان قسم من هذه الاملاح يصبح بصورة ايونية ذائبة اما القسم الاخر فيبقى بصورة صلبة بطيئة الذوبان مما ينتج عنه قلة جاهزية ايونات هذا الملح للنبات . لذلك في حالة الزراعة بدون استخدام تربة من الضروري استخدام املاح ذات قابلية عالية على الذوبان في الماء طالما انها يجب ان تبقى بصورة ذائبة لكي تكون جاهزة للنبات طيلة فترة بقاء المحلول المغذى في محيط الجذور . وربما أفضل مثال حول هذه النقطة هو استخدام نترات الكالسيوم بدلا من كبريتات الكالسيوم كمصدر لعنصر الكالسيوم بالرغم من ان الاخير ذات سعر واطيء مقارنة بالنترات الا انه بطيء الذوبان في الماء .

ثالثا : اسعار الاملاح المستخدمة :

لغرض اختيار الملح يجب اعتماد الكلفة كأساس لذلك . ان سعر اي ملح يعتمد اساساً على المصدر ودرجة النقاوة والقابلية على الذوبان . بالرغم من انه في اغلب الاحيان تستخدم الاملاح التي هي بدرجة النقاوة التجارية (Commercial grade) في تحضير المحاليل المغذية الا انه غالبا ماتحتوي هذه الاملاح على بعض الشوائب داخلة في تركيبها سواء كانت معادن اخرى او غرويات الطين التي تسبب انسداد انابيب التغذية او الصرف في نظام الزراعة بدون تربة كما انها قد تعمل على ادمصاص بعض العناصر المعدنية المهمة لنمو النبات فتسبب نقص في جاهزية تلك العناصر .

رابعاً : صورة العنصر المستخدم :

هناك بعض العناصر تكون على عدة صور وأفضل مثال على ذلك هو عنصر النتروجين . يضاف هذا العنصر اما بصورة نترات أو امونيوم أو يوريا (نتروجين عضوي) أو غاز النتروجين (N_2) الذي يثبت بواسطة بعض الاحياء المجهرية التعايشية . تمتص النباتات النتروجين بكافة الصور المذكورة اعلاه الا ان اغلب النتروجين الجاهز للنبات في محيط الجذور هو اما بصورة نترات أو امونيوم . ان امتصاص النتروجين بصورة امونيوم ربما تتحد مع الاحماض العضوية مباشرة مكونة احماض امينية تسبب زيادة في معدل النمو الخضري خصوصاً تحت ظروف الاضاءة الواطئة (Resh ، ١٩٧٨) . اما امتصاص النتروجين بصور نترات فان هذه النترات تختزل بعد امتصاصها الى امونيا داخل انسجة النبات ثم تتحد مع الاحماض العضوية لتكوين الاحماض الامينية وبذلك يتأخر النمو الخضري . وبناء على ماتقدم فأن الاسمدة الامونيومية يجب ان تستخدم تحت ظروف الاضاءة الشديدة خصوصاً في ايام الصيف عندما تكون عملية التمثيل الضوئي على اشدها حيث سيكون هناك توازن بين المركبات النتروجينية والعضوية كما يمكن استخدام الامونيوم عندما تكون هناك اعراض نقص النتروجين ظاهرة على النباتات . اما في الظروف الطبيعية فمن الضروري استخدام النترات كمصدر للنتروجين . كما يجب التأكيد هنا ان نوعية النبات والمحصول تتأثر بصورة النتروجين . ففي حالة المحاصيل الورقية كاللهانة والخس أو اي محصول غير حساس للامونيوم يمكن استخدام هذا الملح كمصدر للنتروجين في حين ان المحاصيل الثمرية خصوصاً الطماطة والفلفل والرقي والتي تسبب التغذية بالامونيوم ظهور بعض الامراض الفسيولوجية على ثمارها خصوصاً مرض تعفن الطرف الزهري (Blossom

فمن الضروري عدم استخدام الاملاح الامونيومية (Pill وآخرون ، end rot) ١٩٧٨) .

خامساً : الصور المخلوبة لبعض العناصر المعدنية :

هناك عدد من العناصر المعدنية يفضل اضافتها الى المحلول المغذي بصورة مخلوبة مثل الحديد والزنك والمنغنيز وكذلك الكالسيوم والمغنيسيوم حيث انها تبقى جاهزة للنبات حتى في حالة تغيير درجة حموضة المحلول (pH) . كما وجد ان هذه العناصر عندما تكون بصورة مخلوبة يكون امتصاصها اسهل بكثير من قبل جذور النباتات مقارنة بالصورة الايونية الاعتيادية . العنصر المخلوب هو عبارة عن مركب يحتوي على جزيء من مركب عضوي متحد معه احد العناصر المعدنية لحين امتصاصه بواسطة النبات . ومن المركبات المخلبية المستخدمة هي الـ
(Ethylene-diamine tetra acetic acid) EDTA
(Ethylene-diamine dio-hydroxy phenyl acetic acid) EDDHA
(Diethylene triamine pentaaceticacid) DTPA

خطوات تحضير المحلول المغذي :

كما هو معروف ان الزراعة بدون تربة اما ان يستخدم فيها وسط خامل كالحصى أو الرمل أو نشارة الخشب وغيرها أو لايستخدم اي وسط كما في حالة الزراعة في المحلول المغذي مباشرة في تكنيك فلم المحلول المغذي (Nutrient Film Technique, NFT) . لذلك من الضروري توفير كافة العناصر المعدنية سواء كانت الكبرى أو الصغرى في المحلول المغذي لكي ينمو النبات بصورة طبيعية . فبعض هذه العناصر المعدنية قد يكون موجود فعلاً كشوائب في الماء على هيئة املاح ذائبة كالكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والكلور والكبريت الا ان تركيز هذه العناصر غير كافي لحاجة النبات لذلك يجب اكمال تراكيز هذه العناصر لايصالها الى المستوى المطلوب لنمو النباتات عن طريق اضافة الاملاح . كما انه من الواجب توفير العناصر المعدنية الاخرى مثل النتروجين والفسفور والحديد والمنغنيز والبورون والنحاس والزنك والمولبدنم ويتم ذلك بأذابة املاح هذه العناصر في المحلول المغذي وحسب تراكيزها المطلوبة .

من الامور الواجب اخذها بنظر الاعتبار هي مسألة التركيز (Concentration) فعند اذابة ملح معين في الماء فيطلق على الملح بالمذاب والماء بالمذيب وبذلك فأن نسبة المذاب الى المذيب تمثل التركيز . ويرمز للتركيز بعدة طرق

الا ان اكثرها شيوعاً هي استخدام الجزء في المليون (Part Per Million PPM) اي اذابة جزء واحد من المذاب في مليون جزء من المذيب وعندما يكون المذيب هو الماء النقي فأن وزن ١ سم³ منه يساوي ١ غرام . وبذلك يكون الجزء في المليون هو عبارة عن ملغرام من المذاب يذاب في ١ لتر من الماء . الجدول (٥ ـ ١) يمثل تراكيز العناصر المعدنية في المحلول المغذي التي تعتبر ملائمة لانتاج الخضروات في المحاليل المغذية .

جدول (٥ ـ ١)

تراكيز العناصر المعدنية (جزء في المليون) في المحلول المغذي لانتاج الخضروات في تكنيك فلم المحلول المغذي (NFT) (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

اسم العنصر	رمز العنصر	التركيز (جزء في المليون)
النتروجين	N	٢٠٠
الفسفور	P	٦٠
البوتاسيوم	K	٣٠٠
الكالسيوم	Ca	١٧٠
المغنيسيوم	Mg	٥٠
الحديد	Fe	١٢
المنغنيز	Mn	٢
البورون	B	٠,٣
النحاس	Cu	٠,١
المولبدنم	Mo	٠,٢
الزنك	Zn	٠,١

فلو اردنا تحضير المحلول المغذي اعلاه وحسب تركيز العناصر المعدنية فيه يجب اتباع الخطوات التالية : لنأخذ مثلا تركيز الفسفور من الجدول (٥ ـ ١) . نلاحظ اننا لحتاج الى تركيز ٦٠ جزء في المليون وللحصول على هذا التركيز يمكن استخدام أي ملح يحتوي على الفسفور يذوب في الماء بسهولة ولنفترض ان هذا الملح هو فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين (KH_2PO_4). كل جزيئة من هذا الملح تحتوي على ذرة واحدة من البوتاسيوم وذرتين هيدروجين واربعة ذرات اوكسجين وذرة فسفور واحدة .

الوزن الجزئي لهذا الملح = ٣٩ + (٢ × ١) + (٤ × ١٦) + ٣١
= ١٣٦

اي ان ١٣٦ غرام من هذا الملح تحتوي على ٣١ غرام من الفسفور فقط . لذلك فاذا اريد الحصول على غرام واحد من الفسفور من هذا المركب يجب ان نأخذ $\frac{١٣٦}{٣١}$ = ٤,٣٨٧ غم . اذا اذيب هذا الوزن في مليون غرام من الماء (١٠٠٠ لتر ماء) سنحصل على تركيز يساوي واحد جزء في المليون من الفسفور . فاذا كان التركيز المطلوب هو ٦٠ جزء في المليون من الفسفور :

∴ كمية الملح الواجب اذابتها في ١٠٠٠ لتر ماء = ٤,٣٨٧ × ٦٠ = ٢٦٣,٢٢ غم . عند اذابة هذا المركب في الماء يجهز ايونات الفوسفات وكذلك ايونات البوتاسيوم اي عند اذابة الوزن اعلاه للحصول على تركيز الفسفور المطلوب اضيف تركيز معين من البوتاسيوم ايضاً . ولحساب كمية أو تركيز البوتاسيوم في المحلول المغذي الناتج عند اضافة ملح فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين هي :

٢٦٣,٢٢ × $\frac{٣٩}{١٣٦}$ = ٧٥ غرام .

اي اصبح المحلول يحتوي على تركيز ٦٠ جزء في المليون من الفسفور مع ٧٥ جزء في المليون من البوتاسيوم . الا اننا نحتاج الى ما مجموعه ٣٠٠ جزء في المليون من البوتاسيوم اي اننا بحاجة الى اضافة ٢٢٥ جزء في المليون للوصول الى التركيز المطلوب يمكن استخدام نترات البوتاسيوم (KNO_3) لهذا الغرض . فكمية نترات البوتاسيوم الواجب اضافتها للحصول على ٢٢٥ جزء في المليون بوتاسيوم هي :

٢٢٥ × $\frac{٣٩ + ١٤ + (٣ × ١٦)}{٣٩}$

= ٢٢٥ × $\frac{١٠١}{٣٩}$

= ٥٨٢,٦٩ غرام .

لان كل ١٠١ غرام من نترات البوتاسيوم تحتوي على ٣٩ غرام بوتاسيوم فقط . الا ان نترات البوتاسيوم لاتجهز البوتاسيوم فحسب وانما تجهز النتروجين الى

المحلول ايضا ولحساب تركيز النتروجين في المحلول الناتج عن اضافة نترات البوتاسيوم هو :

$$٥٨٢,٦٩ \times \frac{١٤}{١٠١} = ٨٠,٧٧$$ غم تقرب الى ٨١ غم

اي ان تركيز النتروجين في المحلول هو ٨١ جزء في المليون ولحتاج الى ١١٩ جزء في المليون للوصول الى التركيز المناسب (٢٠٠ جزء في المليون). ولاكمال تركيز النتروجين نستخدم نترات الكالسيوم الذي وزنه الجزئي = ٤٠ + ١٤ + (١٣ × ١٦) × ٢ + (٢ × ١) + ١٦ × ٤ = ٢٣٦

أي للحصول على واحد جزء في المليون من النتروجين من نترات الكالسيوم يجب اخذ $\frac{٢٣٦}{١٤ \times ٢}$ = ٨,٤٣ غم.

وبذلك للحصول على ١١٩ جزء في المليون يجب اذابة ٨,٤٣ × ١١٩ = ١٠٠٣,٢ غرام من نترات الكالسيوم في ١٠٠٠ لتر ماء. ان اضافة هذه الكمية من هذا المركب سيجهز المحلول في نفس الوقت بالكالسيوم وتركيز هذا الكالسيوم في المحلول هو ١٠٠٣,٢ × $\frac{٤٠}{٢٣٦}$ = ١٧٠ غم من الكالسيوم مذاب في ١٠٠٠ لتر ماء اي ان تركيزها يعادل ١٧٠ جزء في المليون.

مما تقدم يتضح ان اذابة ٢٦٣,٢٢ غرام من فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين و ٥٨٣ غرام من نترات البوتاسيوم و ١٠٠٣,٢ غرام من نترات الكالسيوم في ١٠٠٠ لتر ماء حصلنا على ٦٠ جزء في المليون فسفور و ٣٠٠ جزء في المليون بوتاسيوم و ٢٠٠ جزء في المليون نايتروجين و ١٧٠ جزء في المليون كالسيوم.

لاكمال بقية العناصر يجب اذابة الاملاح او المركبات التي تدخل في تركيبها فمثلا للحصول على المغنيسيوم يمكن استخدام كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4 . 7H_2O$) والذي وزنه الجزيئي ٢٤٦. وللحصول على ٥٠ جزء في المليون من المغنيسيوم يجب اذابة ٥٠ × $\frac{٢٤٦}{٢٤}$ = ٥١٢,٥ غرام من ملح كبريتات المغنيسيوم في ١٠٠٠ لتر ماء.

غالبا يضاف الحديد بصورة مخلوبة على هيئة EDTA FeNa او EDDHA Fe او الـ Fe DTPA او غيرها . وكما هو معروف ان المركبات الخلبية التي هي مركبات عضوية تتفاعل مع ايونات بعض المعادن فينتج مركب ثابت قابل للذوبان بصورة مركب معقد غير فعال يسهل امتصاصه من قبل جذور النبات مقارنة بايونات الحديد التي تكون غير ثابتة وتتغير من صورة الى اخرى ويصعب على النبات امتصاصها (Cooper ، ١٩٧٩) . الوزن الجزيئي للمركب EDTA] $(CH_2.N(CH_2-COO)_2)_2$ FeNa] هو

٢ [١٢ + ١٤ + ١٤ + (٥٨ × ٢)] + ٥٦ + ٢٣ = ٣٦٧

للحصول على واحد جزء في المليون من الحديد يجب اذابة ٣٦٧/٥٦ غرام من المركب الخلبي اعلاه . وبذلك يذاب ٣٦٧/٥٦ × ١٢ = ٧٩ غرام من المركب الخلبي في ١٠٠٠ لتر ماء للحصول على ١٢ جزء في المليون من الحديد .

تستخدم كبريتات المنغنيز كمصدر للمنغنيز حيث ان الوزن الجزيئي لهذا المركب $(MnSO_4.H_2O)$ هو :

٥٥ + ٣٢+(١٦ × ٤) + (١ × ٢) + ١٦ = ١٦٩

للحصول على تركيز ٢ جزء في المليون من المنغنيز يؤخذ ٢ × ١٦٩/٥٥ = ٦,١ غرام من كبريتات المنغنيز في ١٠٠٠ لتر في الماء .

اما مصدر البورون فهو حامض البوريك (H_3BO_3) الذي وزنه الجزيئي ٦٢,١ وللحصول على تركيز ٠,٣ جزء في المليون من البورون يذاب ٦٢,١/١١ × ٠,٣ = ١,٦٩ غم في ١٠٠٠ لتر ماء وللنحاس يمكن استخدام كبريتات النحاس $(CuSO_4.5H_2O)$ الذي وزنه الجزيئي ٢٥٠ ولكي نحصل على ٠,١ جزء في المليون من النحاس يذاب ٢٥٠/٦٤ × ٠,١ = ٠,٣٩ غرام من ملح كبريتات النحاس في ١٠٠٠ لتر ماء .

تستخدم مولبدات الامونيوم $[(NH_4).MO_7O_{24}-4H_2O)]$ التي وزنها الجزيئي ١٢٣٦,١ ولكي نحصل على تركيز ٠,٢ جزء في المليون من المولبدتم يذاب ١٢٣٦,١/٦٧٢ × ٠,٢ = ٠,٣٦٧ غرام من مولبدات الامونيوم في ١٠٠٠ لتر ماء .

اما الزنك فيمكن الحصول عليه باستخدام كبريتات الزنك ($ZnSO_4 . 7H_2O$) الذي وزنه الجزيئي ٢٨٧ وللحصول على ٠,١ جزء في المليون يذاب $\frac{٢٨٧}{٦٥}$ × ٠,١ ≐ ٠,٤٤ غرام من كبريتات الزنك مذابة في ١٠٠٠ لتر ماء .

ان الاوزان المذكورة اعلاه على اساس ان المركبات المستخدمة نقية ١٠٠ ٪ الا ان هذا في الحقيقة غير ممكن لانه في حالة الانتاج التجاري الذي نحتاج فيه الى كميات كبيرة نسبيا من المواد الكيمياوية فتستخدم هذه المواد بدرجة النقاوة التجارية (Commercial grade) فمثلا درجة نقاوة نترات الكالسيوم (الدرجة التجارية) هي ٩٠ ٪

∴ كمية نترات الكالسيوم الواجب اذابتها = $\frac{١٠٠٣,٢ \times ١٠٠}{٩٠}$ = ١١١٤ غم بدلا من ١٠٠٣,٢ غم .

القانون العام لحساب كمية الملح الواجب اذابته للحصول على التركيز المطلوب للعنصر المعين هو :

$$\frac{\text{الوزن الجزيئي للمركب}}{\text{الوزن الذري للعنصر}} \times \text{التركيز المطلوب} \times \text{درجة النقاوة} \times \frac{١}{١٠٠٠٠٠٠}$$

الجدول (٥ ــ ٢) يتضمن انواع الاملاح وتركيبها الكيمياوي والكميات المأخوذة منها لتذاب في ١٠٠٠ لتر ماء للحصول على التراكيز المذكورة في جدول (٥ ــ ١) لكل عنصر .

ولاجراء عملية اذابة الاملاح في الماء لتحضير المحلول المغذي يجب اتباع مايلي : ــ

١ ــ يجب ضبط درجة حموضة الماء (pH) وجعلها حوالي ٦ سواء باضافة بعض الاحماض أو القواعد حسب درجة حموضة الماء الاصلية .
٢ ــ تذاب نترات الكالسيوم والحديد المخلوب مع التحريك المستمر ويفضل تحريك المحلول المغذي ضمن النظام (دوران المحلول) للتأكد من حدوث التخفيف التام لهذه الاملاح .

جدول (٥ ـ ٢)

اوزان الاملاح (غرام) الواجب اذابتها في ١٠٠٠ لتر ماء للحصول على التراكيز لكل عنصر كما في الجدول (٥ ـ ١)

اسم المركب	تركيبه الكيمياوي	الوزن (غم)
فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين	KH_2PO_4	٢٦٣
نترات البوتاسيوم	KNO_3	٥٨٣
نترات الكالسيوم	$Ca(NO_3)_2 . 4H_2O$	١٠٠٣
كبريتات المغنيسيوم	$MgSO_4 . 7H_2O$	٥١٣
الحديد المخلوب	$[CH_2 . N(CH_2 - COO)_2]_2$ F2Na	٧٩
كبريتات المنغنيز	$MnSO_4 . H_2O$	٦,١
حامض البوريك	H_3BO_3	١,٧
كبريتات النحاس	$CuSO. 5H_2O$	٠,٣٩
مولبدات الامونيوم	$(NH_4)_6 MO_7O_{24} . 4H_2O$	٠,٣٧
كبريتات الزنك	$ZnSO_4 . 7H_2O$	٠,٤٤

٣ ـ تذاب بقية الاملاح حسب ورودها في الجدول (٥ ـ ٢) مع التحريك المستمر .

التسلسل في اضافة الاملاح في النقاط الواردة اعلاه ضروري جداً ويعود ذلك لتقليل حدوث عملية الترسيب (Precipition) حيث ان بعض المواد المستخدمة في تحضير المحلول المغذي قد تتفاعل مع بعضها وتكون مواد ورواسب غير ذائبة مما يجعل النبات تحت ظروف نقص لتلك العناصر المترسبة . وربما افضل مثال على ذلك هو تفاعل فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين مع نترات الكالسيوم وتكون فوسفات الكالسيوم الغير ذائبة في الماء فتظهر اعراض نقص الكالسيوم والفوسفات على النبات .

فيما يلي نماذج لبعض المحاليل المغذية التي استخدمت لنمو النباتات منذ منتصف القرن التاسع عشر ولحد الان كما ذكرها Hewitt (١٩٦٦) ، و Cooper (١٩٧٩) و Graves (١٩٨٤) .

١ ـ محلول **Knop** (١٨٦٥) :

اسم المركب	التركيز (غم / لتر)
KNO_3	٠,٢
$Ca(NO_3)_2$	٠,٨
KH_2PO_4	٠,٢
$MgSO_4 . 7H_2O$	٠,٢
$FePO_4$	٠,١

٢ ـ محلول **Crone** (١٩٠٢ و ١٩٠٤) :

اسم المركب	التركيز (غم / لتر)
KNO_3	٠,٧٥
$Ca_3(PO_4)_2$	٠,٢٥
$CaSO_4 . 2H_2O$	٠,٥٠
$Fe_2(PO_4)_2 . 8H_2O$	٠,٢٥
$MgSO_4 . 7H_2O$	٠,٥٠

٣ ـ محلول **Hoagland** و **Snyder** (١٩٣٣) :

اسم المركب	التركيز (غم / لتر)	المولر
KNO_3	٠,٥١	٠,٠٠٥
$Ca(NO_3)_2$	٠,٨٢	٠,٠٠٥
$MgSO_4 . 7H_2O$	٠,٤٩	٠,٠٠٢
KH_2PO_4	٠,١٣٦	٠,٠٠١

محلول ترتارات الحديديك بتركيز ٠,٥ ٪ يؤخذ ١ مل / لتر العناصر الصغرى A-Z

العناصر الصغرى A-2 هي اخذ ١ مل/ لتر ماء من محلول يحتوي على المركبات التالية بتركيز غم/ ١٨ لتر .

الوزن	اسم المركب	الوزن	اسم المركب
٠,٥	$BaCl_2$	١,٠	$Al_2(SO_4)_2$
٠,١	$CdCl_2$	٠,٥	KI
٠,١	$Bi(NO_3)_2$	٠,٥	KBr
٠,١	Rb_2SO_4	١,٠	TiO_2
٠,٥	K_2CrO_4	٠,٥	$SnCl_2 . 2H_2O$
٠,١	KF	٠,٥	$LiCl$
٠,١	$PbCl_2$	٧,٠	$MnCl_2 . 4H_2O$
٠,١	$HgCl_2$	١١,٠	H_3BO_3
٠,٤٢٥	MoO_3	١,٠	$ZnSO_4 . 7H_2O$
٠,١	H_2SeO_4	١,٠	$CuSO_4 . 5H_2O$
٠,٥	$SrSO_4$	١,٠	$NiSO_4 . 6H_2O$
٠,١	VCl_3	١,٠	$Co(NO_3)_2 . 6H_2O$ As_2O_3

٤ ـ محلول Trelease و Trelease (١٩٣٣)

اسم المركب	التركيز (غم/ لتر)	المولر
KNO_3	٠,٦٨٣	٠,٠٠٦٧
$(NH_4)_2SO_4$	٠,٠٦٧٩	٠,٠٠٠٥٩
KH_2PO_4	٠,٣٤٦٨	٠,٠٠٢٥٥
K_2HPO_4	٠,٠١٢٥٣	٠,٠٠٠٠٧٩
$CaCl_2$	٠,٤٣٧٣	٠,٠٠٣٩٤
$MgSO_4 . 7H_2O$	٠,٧٤٧٨	٠,٠٠٢٦٣
$FeSO_4 . 7H_2O$	٠,٠٠٢٧٨	٠,٠٠٠٠١
PH	٥,١	

٥ ـ المحلول الرئيسي لمحطة (١٩٣٦) Rothamsted

اسم المركب	التركيز (غم / لتر) أ	ب	ج
KNO_3	١,٥	١,٠	١,٠
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٥	٠,٥	٠,٥
KH_2PO_4	٠,٤٥	٠,٤	٠,٣
K_2HPO_4	٠,٠٦٧٥	٠,١٣٥	٠,٢٧
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	٠,٥	٠,٥	٠,٥
$Ca_3(PO_4)_2$	ـ	ـ	ـ
$Fe_3(\lt O_4)_2 \cdot 8H_2O$	ـ	ـ	ـ
$FeCl_3$	٠,٥٤	٠,٠٤	٠,٠٤
H_3BO_3	٠,٠٠١	٠,٠٠١	٠,٠٠١
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	٠,٠٠١	٠,٠٠١	٠,٠٠١
PH	٤,٥	٥,٥	٦,٢

٦ ـ محلول Arnon ١٩٣٨ :

اسم المركب	التركيز (غم / لتر)	المولر
KNO_3	٠,٦٠٦	٠,٠٠٦
$Ca(NO_3)_2$	٠,٦٥٦	٠,٠٠٤
$NH_2H_2PO_4$	٠,١١٥	٠,٠٠١
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٤٩	٠,٠٠٢
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	٥ ٪ يضاف ٠,٦ مل / لتر وبمعدل	
Tartaric acid	٠,٤ ثلاث مرات بالاسبوع	
H_3BO_3	٢,٨٦ ملغم / لتر	
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	١,٨١ ملغم / لتر	
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	٠,٠٨ ملغم / لتر	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٢٢ ملغم / لتر	
$H_2MoO_4 (MoO_2 + H_2O)$	٠,٠٩ ملغم / لتر	

٧ ـ محلول Arnon و Hoagland (١٩٤٠)

اسم المركب	التركيز (غم/ لتر)	المولر
KNO_3	٠,٠١	٠,٠١
$Ca(NO_3)_2$	٠,٤٩٢	٠,٠٠٣
$NH_2H_2PO_4$	٠,٢٣٠	٠,٠٠٢
$MgSO_4 . 7H_2O$	٠,٤٩	٠,٠٠٢
$FeSO_4 . 7H_2O$	٥ ٪ يضاف ٠,٦ مل/ لتر	وبمعدل
Tartaric acid	٤ ٪ ثلاث مرات بالاسبوع	
H_3Bo_3	٢,٨٦ ملغم/ لتر	
$MnCl_2 . 4H_2O$	١,٨١ ملغم/ لتر	
$CuSO_4 . 5H_2O$	٠,٠٨ ملغم/ لتر	
$ZnSO_4 . 7H_2O$	٠,٢٢ ملغم/ لتر	
$H_2MoO_4 (MoO + H_2O)$	٠,٠٩ ملغم/ لتر	

٨ ـ محلول Shive و Robbins (١٩٤٢):

اسم المركب	التركيز (غم/ لتر)	المولر
	محلول رقم ١	
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	١,٠٦٢	٠,٠٠٤٥
$(NH_4)_2SO_4$	٠,٠٩٢٤	٠,٠٠٠٧
KH_2PO_4	٠,٣١٣	٠,٠٠٢٣
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٥٦٧	٠,٠٠٢٣
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	٥,٥ ملغم/ لتر	
H_3BO_3	٠,٥٧ ملغم/ لتر	
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	١,٥٧ ملغم/ لتر	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٥٧ ملغم/ لتر	
	محلول رقم ٢	
$NaNO_3$	٠,٣٤	٠,٠٠٤

$CaCl_2$	٠,١٦٦٥	٠,٠٠١٥
KH_2PO_4	٠,٢١٤	٠,٠٠١٥
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٥١٤	٠,٠٠٢٢

العناصر المعدنية الصغرى كما في محلول رقم ١ .

٩ ـ محلول **Piper** (١٩٤٢) :

اسم المركب	التركيز (غم / لتر)	اسم المركب	التركيز (ملغم / لتر)
KNO_3	١,٥	$_3BO_3$	٠,٥
KH_2PO_4	٠,٥	Mn (as $MnSO_4$)	٠,٥
NaCl	٠,١	Zn (as $ZnSO_4$)	٠,٢
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	٠,٥	Mo (as Na_2MoO_4)	٠,١
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٥	Cu (as $CuSO_4$)	٠,٠٠٣
Ferric citrate	٠,٠٢		

١٠ ـ محلول **Robbins** (١٩٤٦) :

اسم المركب	التركيز (غم / لتر)	المولر
KNO_3	٠,٤٠٤	٠,٠٠٤
Ca (NO_3)	٠,٨٢٠	٠,٠٠٥
KH_2PO_4	٠,١٣٦	٠,٠٠١
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٤٩٣	٠,٠٠٢
Fe	٠,٥ ملغم / لتر	
B	٠,٢٥ ملغم / لتر	
Mn	٠,٢٥ ملغم / لتر	
Zn	٠,٢٥ ملغم / لتر	
Cu	٠,٢ ملغم / لتر	
Mo	٠,٠١ ملغم / لتر	

١١ ـ محلول Hoagland و Arnon (١٩٥٠) :

اسم المركب	المولر	التركيز (مل/ لتر)
	المحلول رقم ١	١
KH_2PO_4	IM	٥
KNO_3	IM	٥
$Ca(NO_3)_2$	IM	٢
$MgSO_4$	IM	
	المحلول رقم ٢	
$NH_2H_2PO_4$	IM	١
KNO_3	IM	٦
$Ca(NO_3)_2$	IM	٤
$MgSO_4$	IM	٢

يضاف لأي من المحلولين السابقين العناصر المعدنية الصغرى حسب الجدول الآتي :

اسم المركب	التركيز في المحلول الاساسي (غم/ لتر)	يضاف ١ مل/ لتر لنحصل على التركيز بالجزء في المليون
H_3BO_3	٢,٨٦	٠,٥
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	١,٨١	٠,٥
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	٠,٢٢	٠,٥
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	٠,٠٨	٠,٠٢
$H_2MoO_4 \cdot H_2O$	٠,٠٢	٠,٠١

١٢ ـ محلول Cooper (١٩٧٨) خاص لتنمية الطماطة والخيار في تكنيك فلة المحلول المغذي .

اسم المركب	التركيز في المحلول الاساس (غم / لتر)	التخفيف مل / لتر)	تركيز العناصر جزء في المليون)
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	٧٨٧	١,٢٥	١١٧ (N) و ١٦ (Ca)
KNO_3	١٦٩	٣,٩	٩١ (N) و ٢٥٤ (K)
$MgSO_4.7H_2O$	٣٢٩	١,٥	٤٩ (Mg)
KH_2PO_4	٩١	٣,٠	٦٢ (P) و ٧٨ (K)
FeNa EDTA	١٢,٣	٣,٠	٥,٦ (Fe)
$MnSO_4.H_2O$	٣,٠	٣,٠	٢,٢ (Mn)
H_3BO_3	٠,٢٣	١,٥	٠,٣٢ (B)
$CuSO_4.5H_2O$	٠,١٧	١,٥	٠,٠٦٥ (Cu)
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	٠,٠٦	١,٥	٠,٠٠٧ (Mo)
H_3PO_3		٤٤	٠,٠٤٤ (P)

١٣ ـ محلول Graves (١٩٨٤) لانتاج الطماطة في تكنيك فلة المحلول المغذي

اسم العنصر	التركيز (جزء في المليون)	انواع الاملاح التي يمكن ان تستخدم
١ ـ النتروجين التتراتي	١٥٠ ـ ٢٠٠	$KNO_3, NH_4NO_3, Ca(NO_3)_2$
٢ ـ النتروجين الامونيومي	صفر ـ ٢٠	$NH_4NO_3, (NH_4)_2SO_4$
٣ ـ البوتاسيوم	٣٠٠ ـ ٥٠٠	KNO_3, K_2SO_4, KH_2PO_4
٤ ـ الفسفور	٥٠	$KH_2PO_4, NaH_2PO_4, CaHPO_4$

٥ ـ الكالسيوم	١٥٠ ـ ٣٠٠	$Ca(NO_3)_2$, $CaSO_4$, $CaHPO_4$
٦ ـ المغنيسيوم	٥٠	$MgSO_4$, $Mg(NO_3)_2$
٧ ـ الحديد	٣	FeEDTA , FeEDTA
٨ ـ المنغنيز	١	$MnSO_4$
٩ ـ النحاس	٠,١	$CuSO_4$
١٠ ـ الزنك	٠,١	$ZnSO_4$
١١ ـ البورون	٠,٣ ـ ٠,٥	H_3BO_3
١٢ ـ الموليدنم	٠,٠٥	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$
١٣ ـ الصوديوم	يجب ان لا يزيد عن ٢٥٠ جزء في المليون	
١٤ ـ الكلور	يجب ان لا يزيد عن ٢٠٠ جزء في المليون	

جدول (٥ ـ ٣) مواصفات بعض الاملاح التي يمكن استخدامها في تحضير المحاليل المغذية للنباتات المختلفة (مأخوذ عن ، ١٩٧٨).

اسم الملح أو المركب	وزنه الجزئي	التركيب الكيمياوي	نوع الايونات المتحررة	نسبة المذاب الى الماء ودرجة الذوبان
١ . نترات البوتاسيوم	١٠١,١	KNO_3	NO_3^-, K^+	١/٤ سريع الذوبان ورخيص الثمن
٢ . نترات الكالسيوم	١٦٤,١	$Ca(NO_3)_2$	$2NO_3^-, Ca^{2+}$	١/١ سريع الذوبان ورخيص الثمن
٣ . كبريتات الامونيوم	١٣٢,٢	$(NH_4)_2SO_4$	$SO_4^{2-}, 2NH_4^+$	١/٢ هذه المركبات
٤ . فوسفات الامونيوم ثنائية الهيدروجين	١١٥,٠	$NH_4H_2PO_4$	$H_2PO_4^-, NH_4^+$	١/٤ تستعمل عندما تكون الاضاءة
٥ . نترات الامونيوم	٨٠,٠٥	NH_4NO_3	NO_3^-, NH_4^+	١/١ جيدة جداً أو في حالات معالجة نقص النتروجين .
٦ . فوسفات الامونيوم احادية الهيدروجين	١٣٢,١	$(NH_4)_2HPO_4$	$HPO_4^{2-}, 2NH_4^+$	١/٢ اسعارها متوسطة .
٧ . فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين	١٣٦,١	KH_2PO_4	$H_2PO_4^-, K^+$	١/٣ سريع الذوبان الا انه غالي الثمن
٨ . كلوريد البوتاسيوم	٧٤,٥٥	KCl	Cl^-, K^+	١/٣ سريع الذوبان ويستخدم لتصحيح حالات نقص البوتاسيوم أو عندما لايوجد كلوريد الصوديوم في المحلول المغذي . سعرة مرتفع

الملح	الوزن الجزيئي	الصيغة	الأيونات	الذوبان	ملاحظات
٩ . كبريتات البوتاسيوم	١٧٤,٣	K_2SO_4	SO_4^{2-}, K^+	$\frac{١١}{١٥}$	بطيء الذوبان لذلك يجب استخدام ماء دافيء لاذابته . رخيص الثمن
١٠ . فوسفات الكالسيوم الاحادية	٢٥٢,١	$Ca(H_2PO_4)_2 - H_2O$	$2H_2PO_4^-, Ca^{2+}$	$\frac{١}{٦٠}$	بطيء الذوبان رخيص الثمن .
١١ . سوبر فوسفات ثلاثي	٢٣٤,٠ متغير	$CaH_4(PO_4)_2$	$2PO_4^{3-}, Ca^{2+}$	$\frac{١}{٣٠٠}$	بطيء الذوبان جداً لايصلح في تحضير المحاليل المغذية ويستخدم كسماد في التربة فقط . رخيص الثمن .
١٢ . كبريتات المغنيسيوم	٢٤٦,٥	$MgSO_4 . 7H_2O$	SO_4^{2-}, Mg^{2+}	$\frac{١}{٢}$	سريع الذوبان وملح جيد ورخيص الثمن
١٣ . كلوريد الكالسيوم	٢١٩,١	$CaCl_2 . 6H_2O$	$2Cl^-, Ca^{2+}$	$\frac{١}{١}$	سريع الذوبان جيد لمعالجة نقص الكالسيوم في حالات عدم وجود كلوريد الصوديوم في المحلول المغذي سعره مرتفع .
١٤ . كبريتات الكالسيوم	١٧٢,٢	$CaSO_4 . 2H_2O$	SO_4^{2-}, Ca^{2+}	$\frac{١}{٥٠٠٠}$	بطيء الذوبان في الماء ولايمكن استخدامه في المحلول المغذي رخيص الثمن .

تكملة جدول ٥ ـ ٣

المادة	الوزن	الصيغة	الأيونات		ملاحظات
١٥ . حامض الفسفوريك	٩٨,٠	H_3PO_4	PO_4^{3-}		حامض مركز جيد في حالات نقص الفسفور . وسعره مرتفع .
		$FeSO_4.7H_2O$	SO_4^{2-},Fe^{2+}		
١٦ . كبريتات الحديد	٢٧٨,٠	$FeCl_3.6H_2O$	$3Cl^-,Fe^{3+}$	$\frac{١}{٤}$	
١٧ . كلوريد الحديد	٢٧٠,٠	FeEDTA	Fe^{2+}	$\frac{١}{٢}$	
١٨ . الحديد المخلوب	٣٨٢,١				سريع الذوبان في الماء الدافيء سعره مرتفع . كما يوجد مركب مخلبي اخر للحديد يسمى يحتوي على ١٠,٥ ٪ حديد .
		H_3BO_3	B^{3+}		
١٩ . حامض البوريك	٦١,٨	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	B^{3+}		احسن مصدر للبورون، يذاب في الماء الدافيء سعره مرتفع
٢٠ . بورات الصوديوم الرباعية (البوراكس)	٣٨١,٤	$CuSO_4.5H_2O$	SO_4^{2-},Cu^{2+}	$\frac{١}{٢٥}$	
٢١ . كبريتات النحاس	٤٩,٧			$\frac{١}{٥}$	
٢٢ . كبريتات المنغنيز	٢٢٣,١	$MnSO_4.4H_2O$	SO_4^{2-},Mn^{2+}	$\frac{١}{٢}$	معتدلة الذوبان في الماء ورخيصة الثمن

تكملة جدول ٥ ــ ٣

٢٣ . كلوريد المنغنيز	١٩٧,٩	$MnCl_2.4H_2O$	$2Cl^-, Mn^{2+}$	$\frac{١}{٢}$
٢٤ . كبريتات الزنك	٢٨٧,٦	$ZnSO_4.7H_2O$	SO_4^{2-}, Zn^{2+}	$\frac{١}{٣}$
٢٥ . كلوريد الزنك	١٣٦,٣	$ZnCl_2$	$2Cl^-, Zn^{2+}$	$\frac{١}{٣}$
٢٦ . مولبدات الامونيوم	١١٦٢٣٩	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	$Mo^{6+}, 6NH_4^+$	$\frac{١}{٣}$ سريع الذوبان وسعره معتدل
٢٧ . الزنك المخلوب	٤٣١,٦	Zn EDTA	Zn^{2+}	سريع الذوبان وسعره مرتفع
٢٨ . المنغنيز المخلوب	٣٨١,٢	Mn EDTA	Mn^{2+}	سريع الذوبان مرتفع الثمن

صور النتروجين في المحلول المغذي :

ان المواد الكيمياوية المستخدمة في تحضير المحلول المغذي يمكن استبدالها حسب اعتبارات معينة . فمثلا في المناطق التي يكون فيها تركيز الكالسيوم في الماء مرتفع نسبياً ويلبي حاجة النبات في هذه الحالة يجب عدم اضافة نترات الكالسيوم الى المحلول المغذي ويستعاض عن النقص في النتروجين نتيجة لحذف هذا الملح باستخدام نترات الامونيوم (NH_4NO_3) حيث ان نترات الكالسيوم وكما ذكر سابقاً انها تجهز المحلول المغذي بـ ١١٩ جزء في المليون من النتروجين ويمكن حساب كميات نترات الامونيوم للحصول على التركيز اعلاه كما يلي :

١ ــ الوزن الجزيئي لنترات الامونيوم = ١٤ + (٤ × ١) + ١٤ + (٣ × ١٦) = ٨٠

٢ ــ كمية نترات الامونيوم الواجب اذابتها للحصول على ١١٩ جزء في المليون من

النتروجين $\frac{٨٠}{٢٨}$ × ١١٩ = ٣٤٠ غرام

وبذلك تحذف نترات الكالسيوم تماماً (١٠٠٣ غرام) ويستعاض عنها بنترات الامونيوم بمقدار ٣٤٠ غرام .

ان الامونيوم كمصدر للنتروجين تعتبر جيدة خصوصاً في المناطق التي يكون فيها درجة تفاعل الماء تميل نحو القاعدية (pH اكثر من ٧) وعندما يكون تركيز الكالسيوم فيه ملائم لنمو النبات حيث ان الامونيوم تقلل من ارتفاع درجة حموضة المحلول المغذي نتيجة لامتصاص الايونات الموجبة بواسطة النباتات وبذلك تقل كمية الحامض الذي يستخدم في خفض درجة حموضة المحلول . الا ان هناك محاذير من استخدام الامونيوم في المحلول المغذي عند زراعة الخضروات خصوصاً الطماطة . فقد لاحظ Cooper (١٩٧٩) ان استخدام الامونيوم في المحلول المغذي تسبب في موت النباتات خصوصاً في بداية مرحلة النمو الا ان هناك دراسات اوضحت انه عندما كان $\frac{١}{٤}$ كمية النتروجين في المحلول المغذي مصدرها الامونيوم لم يحدث أي تأثير سلبي على نمو الطماطة . لذلك يقترح Cooper (١٩٧٩) الاستمرار في اجراء دراسات في هذا الخصوص لتحديد افضل كمية من الامونيوم يمكن اضافتها دون حدوث أي تأثيرات سلبية وايجاد الخاليط المناسبة لتحضير المحاليل المغذية لكل محصول .

حجم المحلول المغذي ومعدل استبداله :

ان الفترة الزمنية التي يستغرقها المحلول المغذي في النظام قبل ان يستبدل تعتمد اساساً على كمية مايتراكم من الاملاح في المحلول المغذي بمعدل اكبر من مايمتصه النبات في نموه .
هذا التراكم في تركيز الاملاح في المحلول المغذي يسبب بلاشك رفع الضغط الازموزي للمحلول وبالتالي يسبب خفض في امتصاص الماء والاملاح وبالتالي تعرض النباتات الى الذبول . ولقياس تركيز الاملاح يستخدم جهاز قياس درجة التوصيل الكهربائي (Conductivity meter) حيث تقاس درجة التوصيل الكهربائي (Electrical conductivity) ويرمز لها بـ EC للمحلول المغذي عند تحضيره واسبوعياً لقياس مدى تراكم الاملاح حيث لوحظ ان زيادة تركيز الاملاح الى اكثر من ٤ مليموز/ سم سببت ذبول للنباتات خصوصاً تلك الحساسة للملوحة .
على أي حال يجب ان يستبدل المحلول المغذي بكامله بعد مرور شهرين كاقصى فترة زمنية حيث عند ذلك يضخ المحلول القديم الى مجاري المياه ويغسل بماء الحنفية ثم يحضر المحلول الجديد حسب الخطوات المذكورة آنفاً . هناك نقطة اخرى يجب مراعاتها حيث ان الاملاح قد تتراكم في المحلول المغذي بسبب التفاوت في معدل امتصاص الماء وهذه الاملاح من قبل النباتات حيث قد يمتص الماء بمعدل اسرع من امتصاص الاملاح وبالتالي يحصل التراكم. فقد وجد ان كمية الماء الممتصة بواسطة النباتات تتراوح بين ٥ الى ٣٠٪ من حجم المحلول المغذي يومياً لذلك فقد يزداد تركيز الاملاح في المحلول عندما لايتم تعويض الماء المفقود منه بصورة مستمرة . اضافة لما تقدم فإن الماء الذي يضاف لتعويض الماء المفقود بهذه الكميات الكبيرة نسبياً قد يرفع تركيز الاملاح الى درجة قد تكون ضارة خصوصاً في المناطق التي يكون تركيز الاملاح فيها مرتفع نسبياً .

في حالة الزراعة التجارية في انظمة الزراعة بدون تربة خصوصاً الانظمة المغلقة (المحلول يكون في دوران مستمر) يستبدل المحلول المغذي فيها كل ٢ الى ٣ اسابيع اعتماداً على مرحلة النبات . ففي مرحلة النمو التي يكون فيها الانتاج في آوجه من الضروري استبدال المحلول المغذي اسبوعياً . كما ان اجراء عمليات قياس درجة التوصيل الكهربائي وتقدير تركيز العناصر المعدنية في المحلول المغذي تعتبر ضرورية جداً لمعرفة حالة المحلول من حيث تركيز الاملاح والعناصر المعدنية فيه .

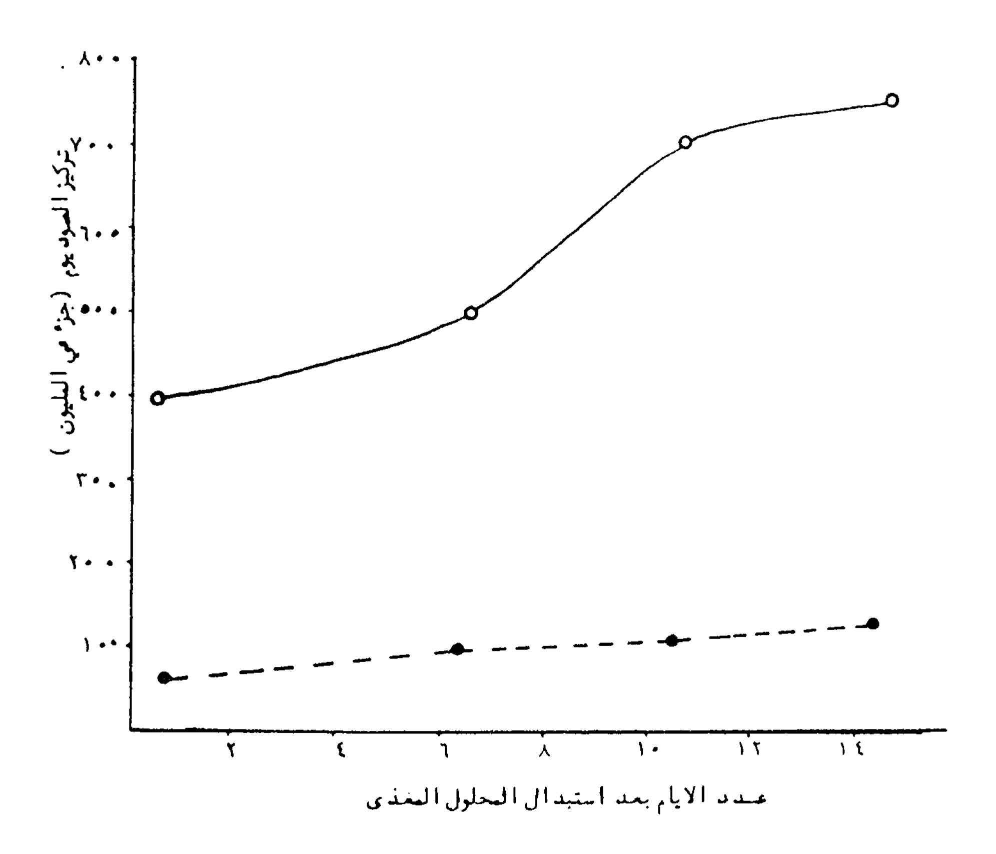
نوعية الماء :

ان المصادر الطبيعية للماء هي مياه البحار والمحيطات والماء الارضي ومياه الانهر والابار ومياه الامطار التي تجمع في خزانات لاستخدامها عند الحاجة . ويعتبر ماء الحنفية مصدر صناعي للماء حيث غالباً مايضاف له الكلور وتزال منه العسرة ثم يضخ في انابيب معدنية . كما ان الماء المقطر Distilled water والماء الذي ازيلت منه ايونات العناصر المعدنية المذابة فيه (Deionized water) تعتبر مصادر صناعية للماء ايضاً .
بصورة عامة فإن ماء البحر غير صالح للاستعمال بسبب التركيز العالي للاملاح التي قد تصل الى ١٠٠٠ جزء في المليون ما لم تجري عملية ازالة الاملاح منه . اما مياه الانهار والآبار فتعتمد نوعيتها على مصدر الماء والتركيب الجيولوجي للتربة التي تجري فيها .

الماء الممتص من قبل النباتات يفقد منها بعملية النتح غير ان جزء قليلاً منه يستخدم في بناء انسجة النباتات (في النمو) لذلك من الضروري تعويض هذا النقص في الماء من المحلول المغذي ومن خلال هذه العملية قد يحصل تراكم للاملاح الذائبة فيه اساساً كشوائب اذا لم يكن معدل امتصاص هذه الاملاح بنفس معدل امتصاص الماء . أن ارتفاع تركيز ايونات بعض المعادن في المحلول المغذي قد تصل الى مستوى السمية للنباتات كما في حالة الكلور وهذا له مردود سلبي على نمو وانتاج النباتات .

ومن اهم الاملاح التي تسبب مشكلة بهذا الخصوص هي ملح الطعام (كلوريد الصوديوم NaCl) حيث ان معظم النباتات تحتاج الى الصوديوم والكلور بكميات قليلة في النمو . فاذا كان تركيز هذا الملح مرتفع نسبياً في الماء المستخدم في نظام الزراعة سيتراكم هذا الملح ويرتفع تركيزه . فقد وجد Graves (١٩٨٤) ان تركيز هذه الاملاح قد يتضاعف عدة مرات تركيزه الاصلي في الماء خلال فترة اسبوع عندما تصبح النباتات كبيرة وكمية الماء المفقودة كبيرة ايضاً . ومن خلال دراسة اجراها Speansley وآخرون (١٩٧٨) حول تأثير نوعية الماء على نمو وانتاجية نباتات الطماطة والفلفل لوحظ ان وجود الصوديوم بتركيز ٣٠ جزء في المليون في الماء المستخدم تسبب في رفع تركيز هذا العنصر بدرجة كبيرة في المحلول المغذي (شكل ٥ ـ ١) .

في هذه التجربه زرعت حوالي ١٢٠٠٠ نبات لكل محصول ووجد انها تستهلك حوالي ١٦٠٠٠ لتر مـاء يومياً وكان الحجم الكلي للمحلول المغذي (الحوض الرئيسي)



(شكل ٥ ـ ١)
تراكم الصوديوم في المحلول المغذي نتيجة لتعويض الماء المفقود بطريقة النتح وبناء انسجة النبات . (o——o) الماء يحتوي على ١٠٠ جزء في المليون صوديوم والمحصول نباتات الطماطة ، (●------●) الماء يحتوي على ٢٥ جزء في المليون صوديوم والمحصول نباتات الفلفل (مأخوذ عن Spensley وآخرون ، ١٩٧٨) .

هو ٥٠٠٠ لتر من ذلك يتضح ان الماء الموجود في هذا النظام يمتص بالكامل ويستبدل بماء جديد مما ينتج عنه تراكم لايونات الصوديوم والكلور وغيرها .

وقد وصف Cooper (١٩٧٩) اعراض زيادة تركيز الاملاح على النباتات المزروعة في المحاليل المغذية وهي ان معدل نمو النباتات يصبح بطيء ويصبح لون النباتات اخضر داكن وان الاوراق الحديثة تكون اصغر من الحجم الطبيعي لذلك

عندما تظهر مثل هذه الاعراض يصبح من الضروري استبدال المحلول المغذي القديم بمحلول جديد مما تقدم اصبح واضحاً ان ارتفاع تركيز الاملاح الموجودة أساساً في الماء المستخدم في تحضير المحلول المغذي أو الذي يعوض مايفقد بالنتح تكون له مردوداته السلبية سواء كانت هذه الاملاح كلوريدات او كبريتات او كاربونات أو بيكربونات للايونات الموجبة كالصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم. والجدول (٥ ـ ٤) يوضح تركيز الاملاح المختلفة في ماء البحر. مجموع تركيز

جدول (٥ ـ ٤)
معدل تراكيز العناصر المعدنية في ماء البحر
(مأخوذة عن Cooper ، ١٩٧٨)

اسم العنصر	التركيز (جزء في المليون)
النتروجين	٠,٥
الفسفور	٠,٠٥
البوتاسيوم	٣٨٠
الكالسيوم	٤٠٠
المغنيسيوم	١٢٧٠
الحديد	٠,٠١
المنغنيز	٠,٠٠٥
البورون	٤,٦
النحاس	٠,٠٤
المولبدنم	٠,٠٠٠
الزنك	٠,٠١
الصوديوم	١٠٥٦٠
الكلور	١٨٩٨٠
الكبريت	٨٨٤
البروم	٦٥
السفردنتيوم	١٣
السليكون	٢
الالمنيوم	١
الفلور	١,٤
اليود	٠,٠٥

الاملاح الذائبة في ماء البحر قد يصل الى حوالي ٣٧٠٠٠ جزء في المليون لذلك يجب تقطير هذا الماء في حالة الحاجة الى استعماله في تحضير المحلول المغذي كما هي الحال في دول اقطار الخليج العربي الشقيقة .

وتستخدم اجهزة ضخمة خاصة لتقطير الماء الذي يكون بصورة عامة خالي من الاملاح (Distilled Water) . ، كما توجد طريقة اخرى للتخلص من ملوحة الماء وهي بأستخدام جهاز مزيل الايونات (Deionizer) حيث يوجد في هذا الجهاز عمودين (Column) مملوءة بمركبات راتنجية (Resin) لها القابلية على التبادل الايوني (Ion Exchange Capacity) احد هذه الاعمدة يحتوي على مركبات تمتص ايون الهيدروجين على اسطحها(Re^-, H^+)في حين يحتوي العمود الثاني على مركبات تمتص ايون الهيدروكسيل على اسطحها(Re^+, OH^-)

فلو اردنا ازالة كلوريد الصوديوم من الماء مثلا يمرر هذا الماء في العمود الاول Re^-, H^+ حيث يتم استبدال الهيدروجين بأيون الصوديوم ويتحرر الاول الى الماء في حين يدمص الصوديوم على اسطح الراتنج بعد ذلك يمرر الماء في العمود الثاني فيتحرر ايون الهيدروكسيل ويدمص ايون الكلور كما في الحالة السابقة ثم يحصل اتحاد بين الهيدروجين والهيدروكسيل المتحررين ويتكون ماء عادي ويمكن تمثيل العمليات اعلاه بالمعادلات التالية :

$$Re^-H^+ + Na^+ \rightleftharpoons Re^-Na^+ + H^+$$

$$Re^+OH^- + Cl^- \rightleftharpoons Re^+Cl^- + OH^-$$

$$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$$

الا انه بمرور الزمن تقل فعالية هذا الجهاز بسبب تشبع مواقع الادمصاص على اسطح المركبات الراتنجية بالايونات المدمصة عليها وبذلك يمكن اعادة الفعالية لهذه المركبات من خلال امرار حامض مركز في العمود(Re^-, H^+)وقاعدة قوية في العمود (Re^+OH^-) فتستبدل الايونات الموجبة والسالبة المدمصة بايونات الهيدروجين والهيدروكسيل في العمودين على التوالي وبالتالي تستعيد المواد الراتنجية نشاطها لازالة الاملاح الذائبة في الماء . من ذلك يتضح ان اعادة تنشيط اعمدة جهاز مزيل الايونات تعتمد على تركيز الاملاح في الماء وكمية الماء المستخدمة .

ضبط درجة حموضة المحلول المغذي pH :

ان من اهم الفروقات بين الزراعة في التربة والزراعة في الانظمة بدون تربة هي ان المحلول المغذي يمتلك سمة تبادلية للايونات الموجبة (Cation Capacity exchange) محدودة جداً مقارنة بالتربة (Alt ، ١٩٨٠) . ففي حالة التربة حيث تحتوي على المركبات العضوية وبعض الايونات الضعيفة مثل البيكربونات (HCO_3^-) والفوسفات (HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$) التي تعتبر مواقع للتبادل الايوني في حين يلاحظ ان المحلول المغذي الذي يميل الى الحموضة فان قليل من ايونات الفوسفات تقوم بهذا العمل لذلك فان امتصاص الايونات الموجبة والسالبة بدرجات متفاوتة سيؤدي الى تغيير pH المحلول . وبصورة عامة فأن امتصاص العناصر المعدنية يكون باقصى معدل له عندما تتراوح الدالة الحامضية للمحلول المغذي بين ٥ الى ٧ (Graves ١٩٨٤) . وعندما ينخفض pH المحلول الى اقل من ٥ ينتج عنه انخفاض كبير في معدل امتصاص الايونات الموجبة مقارنة بامتصاص الايونات السالبة في حين يلاحظ انه عندما يكون pH المحلول اعلى من ٧ ستكون الحالة معكوسة . فتحت ظروف الوسط القاعدي (pH اكثر من ٧) يكون امتصاص الايونات الموجبة بمعدل اسرع من امتصاص الايونات السالبة تبدأ جذور النباتات بتحرير ايون الهيدروجين H^+ وبذلك ينخفض pH المحلول المغذي اما اذا كان امتصاص الايونات السالبة هو السائد فتقوم الجذور (تحت ظروف الوسط الحامضي) بتحرير ايونات البيكربونات HCO_3^- والهيدروكسيل OH^- وبذلك يرتفع pH المحلول . ان هذا التغير في pH المحلول يؤثر على جاهزية بعض العناصر المعدنية خصوصاً العناصر الصغرى (microelements) حيث انه تحت ظروف pH اقل من ٥,٥ يزداد امتصاص وجاهزية هذه العناصر المعدنية اما في حالة الـ pH المرتفع (اعلى من ٦,٥) فأن جاهزية هذه العناصر تقل كثيراً حيث تترسب على هيئة مركبات غير ذائبة ماعدا المولبدنم (Benton-jones ١٩٨٢) . ولتقدير درجة حموضة المحلول المغذي يمكن استخدام مايسمى بجهاز الـ (pH-meter) حيث تؤخذ عينات من هذا المحلول ويقاس فيها درجة الحموضة واجراء تعديلها حسب مايلائم نمو النبات . في حالة الزراعة بدون استخدام تربة قد يوضع الكترود جهاز pH في الحوض الرئيسي للمحلول المغذي وغالباً مايستخدم جهازين لضبط الـ pH في موقعين مختلفتين لتلافي المشاكل التي قد تنجم عن ضخ كميات كبيرة من الحامض (كما في حالة السيطرة الاتوماتيكية على حموضة المحلول المغذي) لخفض الـ pH لذلك عندما تحصل مثل هذه الحالة الخطرة يبدأ الجهاز الثاني الذي يسمى بالجهاز الحارس باطلاق صفارة انذار يشير الى وجود خطأ حيث ان خفض pH المحلول الى اقل من ٤ قد يسبب فقدان الحاصل بالكامل

وذلك بسبب التلف التي تحدثه مثل هذه الحموضة للجذور (Wilcox ، ١٩٨٤) . اما في حالة السيطرة العادية على pH المحلول المغذي فتتم بقياس الـ pH في عينة من المحلول ويضاف الحامض او القاعدة حسب درجة الـ pH حيث لوحظ انه مع مرور الزمن يرتفع pH المحلول المغذي ويعود ذلك الى الاختلاف في معدل امتصاص الايونات السالبة والموجبة وكميات الماء المفقودة بواسطة النتح وتعويض هذه الكميات من الماء بماء يحتوي على املاح مما ينتج عنه رفع الـ pH . بصورة عامة تطلق كلمة حامض قوي أو قاعدة قوية على الحوامض والقواعد التي تتأين ١٠٠٪ عندما تضاف هذه الاحماض والقواعد الى الماء يحصل لها تخفيف فمثلا حامض الهيدروكلوريك (HCl) يعتبر حامض قوي حيث يتأين ١٠٠٪ في المحلول المخفف الى ايونات الهيدروجين والكلور . وفي حالة استخدام حامض النتريك (HNO_3) مخفف لخفض pH المحلول المغذي يتأين هذا الحامض الى ايون الهيدروجين (H^+) والنترات (NO_3^-) وزيادة تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول المغذي ينتج عنه خفض حموضة المحلول المغذي (الـ pH = ـ لوغارتم تركيز ايون الهيدروجين) . وبالمقابل عندما يراد رفع درجة حموضة المحلول المغذي تضاف قاعدة قوية مثل هيدروكسيد البوتاسيوم KoH حيث تتأين هذه القاعدة الى ايونات الهيدروكسيد (OH^-) والبوتاسيوم (K^+) . ان زيادة تركيز ايونات الهيدروكسيل هي التي تسبب رفع pH المحلول نحو القاعدية وكقاعدة عامة يجب ان يضبط pH المحلول المغذي على درجة (٦ ± ٠,٥) حيث تعتبر هذه الحموضة ملائمة لنمو معظم نباتات الخضروات حيث ان pH خارج حدود هذا المدى له تأثيرات سلبية على النمو مما ينعكس بصورة سلبية على الحاصل وتأثير الـ pH الغير ملائم لنمو النباتات يكون من خلال تأثيره على جاهزية العناصر المعدنية المختلفة . ولتصحيح درجة حموضة المحلول يستخدم عادة حامض النتريك (HNO_3) أو حامض الفسفوريك (H_3PO_4) في حالة ارتفاع الـ pH للمحلول المغذي الى اعلى من ٧ في حين يستخدم هيدروكسيد البوتاسيوم لرفع الـ pH عندما ينخفض الى ٥ أو اقل . يعتمد نوع الحامض الواجب استخدامه على تركيز الكالسيوم في الماء المستخدم في تحضير المحلول المغذي حيث انه في حالة ارتفاع تركيز الكالسيوم في الماء يفضل استخدام حامض النتريك بدلا من حامض الفسفوريك ويعود ذلك الى ان الكميات المستخدمة من الحامض الاول لخفض pH الماء هي اقل من كمية الحامض الثاني . ان الاختلاف في الكميات المستخدمة من الحامضين تعود الى تفاعل هذين الحامضين مع بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ الموجودة في الماء كما في المعادلات التالية :

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2H_3PO_4 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

ففي حالة استخدام حامض النتريك تتكون نترات الكالسيوم التي سرعان ماتذوب في الماء في حين عندما استخدم حامض الفوسفوريك ينتج عنها فوسفات الكالسيوم على هيئة راسب ابيض غير ذائب في الماء وفي هذه الحالة لايمكنها الاستفادة من اي من العنصرين (الكالسيوم والفسفور) . ان ترسب فوسفات الكالسيوم قد يسبب اعاقة كبيرة للمحلول المغذي خصوصاً في انابيب التغذية . بالرغم مما تقدم فقد استخدم بعض منتجي الطماطة في انجلترا حامض الفسفوريك لضبط المحلول المغذي في الوقت الذي كان تركيز الكالسيوم في الماء المستخدم حوالي ١٠٠ جزء في المليون دون حدوث اي مشاكل في النظام . ان اختيار الحامض يعتمد على عوامل عديدة اهمها نوعية الماء وتركيز الكالسيوم فيه والكمية المستخدمة والاخطار التي قد تنشأ من استعماله . من المعروف ان حامض النتريك عبارة عن مادة حارقة وقد تسبب حروق للاشخاص الذين يتداولونه في حين ان خطر حامض الفسفوريك اقل من حامض النتريك كما ان اسعار الاحماض يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار عند اختيار الحامض وان استخدام اي من الحامضين له ميزاته ومساوئه .

وقد استخدم حامض الكبريتيك (H_2SO_4) لخفض درجة حموضة المحلول المغذي بالرغم من انه من الاحماض الحارقة . وفي دراسة لمقارنة استخدام حامض الفسفوريك وحامض الكبريتيك لضبط pH المحلول المغذي لنباتات الطماطة فقد وجد ان حاصل النباتات في حالة استخدام حامض الفسفوريك كان ٤,٨ كغم / نبات في حين كان انتاج النبات الواحد ٤,٤ كغم عندما استخدم حامض الكبريتيك كما كان نمو النباتات ضعيف . ان كمية حامض الفسفوريك لضبط pH محلول مغذي معين تكون اكثر من كمية حامض النتريك لضبط pH نفس المحلول كما ذكر آنفاً . ولكي نفهم سبب هذا الاختلاف نضرب المثال التالي :

الوزن الجزيئي الغرامي لحامض النتريك = ١ + ١٤ + (٣ × ١٦) = ٦٣
لذلك لتحضير محلول عياري ١ مولر من حامض النتريك نحتاج الى ٦٣ غم من هذا الحامض مذابه في لتر . بما ان حامض النتريك يحتوي على ذرة هيدروجين واحدة قابلة للتبادل اذن الوزن المكافىء يساوي الوزن الجزيئي مقسوم على واحد . اما في حالة حامض الفسفوريك (H_3PO_4) فان وزنه الجزيئي الغرامي =
(٣ × ١) + ٣١ + (٤ × ١٦) = ٩٨

اي انه عند اذابة ٩٨ غرام من هذا الحامض في لتر نحصل على محلول عياري ١ مولر من حامض الفسفوريك . اما الوزن المكافىء الغرامي لهذا الحامض هو :
٩٨ ÷ ٣ = ٣٢,٧

ويعود ذلك الى ان هذا الحامض يحتوي على ثلاث ذرات من الهيدروجين قابلة للتبادل .

ان وزن جزيئي غرامي من بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ يحتوي على ٤٠ غرام كالسيوم صافي ذائبة في لتر نحصل على ١ مولر من البيكربونات على اعتبار ان الوزن الذري للكالسيوم هو ٤٠ وبذلك يكون الملي جزىء الغرامي الواحد من الكالسيوم يحتوي على ٤٠ جزء في المليون (٤٠ ملغم كالسيوم مذابة في لتر ماء) . ومن خلال المعادلة التالية :

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2CO_2 + 2H_2O$$

يتضح ان ملي جزىء غرامي واحد من بيكربونات الكالسيوم تتفاعل مع ملي جزئي غرامي واحد من حامض النتريك (اي مع ٢ مليليتر من حامض النتريك بتركيز ملي مكافىء غرامي واحد IN) . بما ان الوزن النوعي لحامض النتريك هو ١,٤٢ لذلك لتحضير محلول IN من حامض النتريك نحتاج الى ٤٤ مليليتر من هذا الحامض تذاب في لتر ماء .
٦٣ ÷ ١,٤٢ = ٤٤ مليليتر .

وكما ذكرنا آنفا فأن كمية الحامض المضافة تعتمد اساسا على تركيز الكالسيوم في الماء ولحساب كمية حامض النتريك العياري (IN) الواجب اضافتها يقسم تركيز الكالسيوم في الماء على ٢٠ حيث ان تكافؤ الكالسيوم هو ٢ وان ملي جزئي غرامي واحد من بيكربونات الكالسيوم تحتوي على ٤٠ جزء في المليون كالسيوم وهذه الكمية تتفاعل مع ٢ مليليتر من حامض النتريك العياري وبذلك فان المليليتر الواحد من حامض النتريك العياري تتفاعل مع ٢٠ جزء في المليون من الكالسيوم فقط .

اما في حالة استخدام حامض الفسفوريك فان تركيز عياري واحد IN من هذا الحامض تحتوي على $\frac{1}{3}$ الجزئي الغرامي بسبب وجود ثلاث ذرات من الهيدروجين قابلة للتبادل اي ان الوزن المكافيء لهذا الحامض = ٩٨ ÷ ٣ = ٣٢,٧ .

وبذلك لكي يتفاعل هذا الحامض مع ملي جزئي غرامي من بيكربونات الكالسيوم من الضروري اضافة ستة مليلترات من حامض الفسفوريك (IN) . ولايضاح ذلك نضرب المثال التالي :

مثال : لنفرض ان لدينا ماء يحتوي على ١٠٠ جزء في المليون من الكالسيوم وان كمية هذا الماء هي ١٠٠٠ لتر . فما هي كمية حامض النتريك او حامض الفسفوريك الواجب اضافتها لمعادلة درجة حموضته ؟

في حالة استخدام حامض النتريك فيجب اضافة $\frac{١٠٠}{٢٠}$ × ١٠٠٠ = ٥٠٠٠ مليليتر اي ٥ لتر من حامض النتريك العياري . اما في حالة استخدام حامض الفسفوريك فيجب اضافة $\frac{١٠٠}{٢٠}$ × ١٠٠٠ × ٣ = ١٥٠٠٠ مليليتر اي ١٥ لتر من حامض الفسفوريك العياري . ولتحضير حامض الفسفوريك العياري يجب قسمة الوزن المكافيء على الوزن النوعي للحامض اي :

٣٢,٧ ÷ ١,٧٥ = ١٩ مليليتر .

اي يذاب ١٩ مليليتر من حامض الفسفوريك في لتر من الماء تحصل على محلول عياري من هذا الحامض .

المثال اعلاه يوضح اننا نحتاج الى ٥ لتر من حامض النتريك مقارنة بـ ١٥ لتر من حامض الفسفوريك لضبط pH كمية من الماء تعادل ١٠٠٠ لتر .

ويمكن التحكم في درجة حموضة المحلول المغذى وذلك باستخدام مصدرين من النتروجين هما الامونيوم (NH_4^+) الموجبة الشحنة او النترات (NO_3^-) السالبة الشحنة وبتغير نسبة احدهما الى الاخر يمكن تغير الـ pH الى الدرجة المطلوبة حيث ان الامونيوم تسبب خفض الـ pH لان تفاعلها حامضي في حين ان اضافة النترات تسبب رفع pH المحلول مع مرور الزمن وقد استخدمت طريقة ضبط الـ pH قديما بواسطة مصدري النتروجين (NH_4 ، NO_3) من قبل Trelease و Trelease (١٩٣٥) على نطاق بحثي وحديثا من قبل Willumsen (١٩٨٠) على نطاق تجاري .

درجة التوصيل الكهربائي للمحلول المغذي Electrical conductivity

كما هو معروف ان العناصر المعدنية التي تحتاجها النباتات في انظمة الزراعة بدون تربة تذاب في الماء . ولحساب التركيز الكلي للاملاح المذابة تقاس درجة التوصيل الكهربائي للمحلول المغذي حيث ان قابلية التوصيل الكهربائي لاي محلول ملحي تتناسب طردياً مع تركيز الاملاح المتأينة (اي المشحونة كهربائياً) . تقاس قابلية التوصيل الكهربائي عادة بوحدة المليموز والتي هي عبارة عن $\frac{١}{١٠٠٠}$ مو (Mho) أو تقاس بالميكروموز وهي ١٠$^{-٦}$ مو . فمثلا عندما نقول درجة التوصيل الكهربائي لمحلول ما هي ٥ مليموز هي نفسها ٥٠٠٠ مايكروموز وهي نفسها ٠,٠٠٥ مو . في الكيمياء الزراعية يعبر عن التوصيل الكهربائي بعامل التوصيل (Conductivity Factor) والذي يرمز له بـ CF ، حيث ان هذا العامل يقسم الميكروموز على ١٠٠ أو يضرب المليموز × ١٠ لذلك عندما نريد ان نرمز الى

٢ مليموز أو ٢٠٠٠ مايكروموز بعامل التوصيل الكهربائي (CF) سيكون ٢٠ . وتوجد اجهزة كهربائية سواء كهربائية كانت أو تعمل بالبطاريات تقوم بعملية قياس التوصيل الكهربائي يطلق عليها (Conductivity meter) . وحديثاً تستخدم الوحدة MS/cm بدلا من الـ mmhos/cm ولها نفس القيمة × ١٠ .

ان قياس درجة التوصيل الكهربائي للمحلول المغذي تعطي فكرة عن التركيز النهائي للاملاح الذائبة الا انها لاتعطي أية فكرة عن تركيز العناصر المعدنية كل على انفراد لذلك وبهدف الدقة من الضروري قياس تركيز كل عنصر من المحلول المغذي بطرق التحليل الكيمياوي المعروفة .

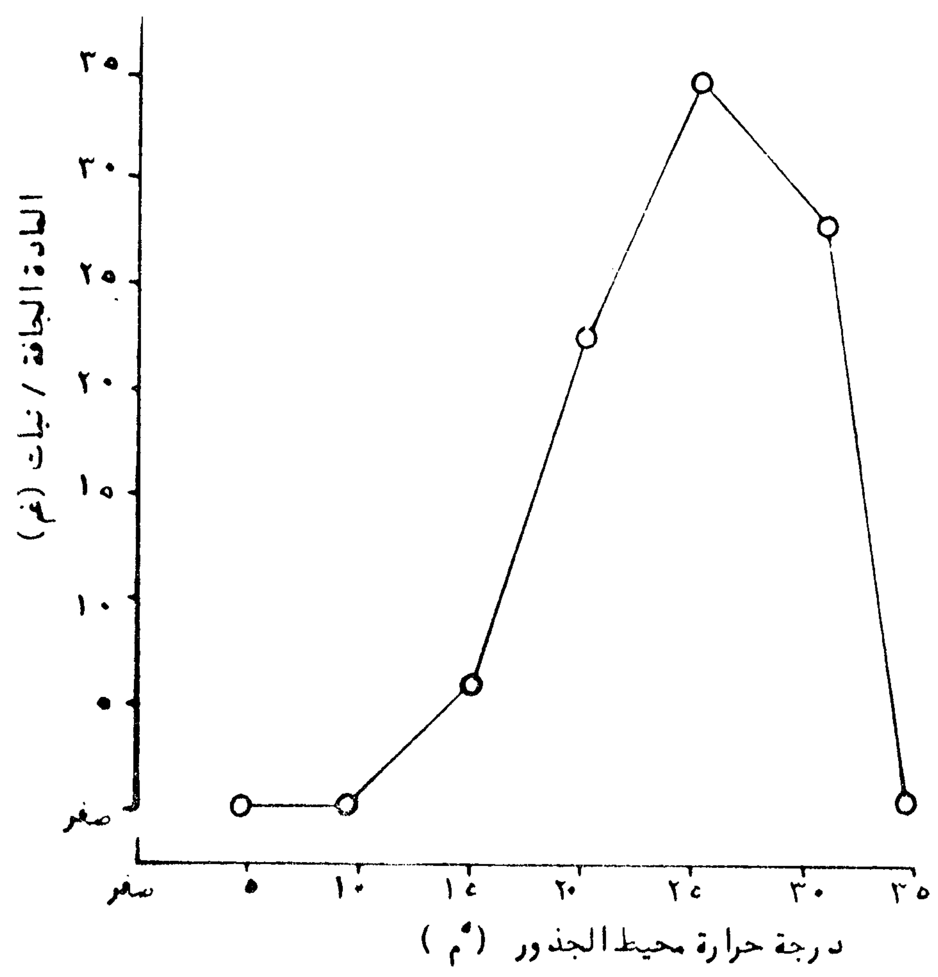
ان قياس درجة التوصيل الكهربائي للمحلول المغذي يجب ان تجرى يومياً حيث ان معظم الخضروات تحتاج الى محلول مغذي يكون التركيز الكلي للاملاح الذائبة فيه يتراوح بين ٢ الى ٣ مليموز (CF = ٢ ــ ٣) . حيث ان نمو النباتات وبمرور الزمن تمتص العناصر المعدنية وقد يستنفذ بعضها من المحلول المغذي وبالتالي ينخفض معامل التوصيل الكهربائي CF وفي حالة انخفاضه الى اقل من ٢٠ يصبح من الضروري اضافة الاملاح المعدنية بنفس نسبها عند تحضير المحلول المغذي الاصلي لكي يرتفع الـ CF الى حوالي ٣٠ . وقد اقترح Graves (١٩٨٤) ان تجري عملية التحليل الكيمياوي للعناصر المعدنية الكبرى (Mg, Ca K, P, N) في المحلول المغذي لكل ٢ الى ٣ اسابيع في حين ان التحليل الكيمياوي للعناصر المعدنية الصغرى (Zn, Mo, Mn, Fe, Cu, B, Na) كل ٤ الى ٦ اسابيع ويعدل تركيز كل عنصر تبعاً لذلك .

تأثير درجة حرارة المحلول المغذي :

من خلال كثير من الدراسات لوحظ ان تدفئة التربة اثناء الليل في البيت الزجاجي أو البلاستيكي لها تأثير كبير على نمو النباتات وكمية ونوعية الحاصل الا ان المشكلة الرئيسية في استخدام هذا التكنيك هي صعوبة تدفئة التربة حيث يحتاج المزارع الى ازالة طبقة من تربة البيت الزجاجي أو البلاستيكي ووضع اسلاك كهربائية في الاسفل ثم تغطى ثانية أو تتم التدفئة بمد انابيب يمر فيها الماء الحار أو البخار من مرجل خاص على غرار ماهو مستخدم في تدفئة البيوت الزجاجية حيث تشع الحرارة الى التربة وبذلك يدفأ محيط الجذور . يتضح من ذلك مدى الجهد والعمل الواجب اداءه لتحقيق هذا الهدف اضافة الى الصعوبات الفنية في التنفيذ مما حدى بالمزارعين للاعراض عن استخدامه . اما في حالة الزراعة بدون تربة فاصبحت هذه العملية ميزة هامة لهذا التكنيك حيث يمكن بسهولة تدفئة المحلول المغذي بأستخدام ملف كهربائي يقوم بتدفئة محتويات الحوض الرئيسي

الى الحرارة المرغوبة وبالتالي توفير ظروف بيئية لنمو وفعالية النبات خصوصاً في الانظمة المغلقة من الزراعة بدون تربة .

في دراسة اجراها Cooper (١٩٧٩) حول تأثير درجة حرارة المحلول المغذي في نظام الزراعة المسمى تكنيك فلم المحلول المغذي على نمو نباتات الطماطة لاحظ انه عندما كانت درجة حرارة المحيط الهوائي ٢٠م ودرجات حرارة المحلول المغذي التي بقيت ثابتة اثناء الليل والنهار هي ٥ ، ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ ، ٣٠ ، و ٣٥م حيث تم قياس تراكم المادة الجافة في هذه النباتات ، النتائج تشير الى ان أحسن درجة حرارة للمحلول المغذي لانتاج اكبر مادة جافة كانت بين ٢٥ الى ٣٠م (شكل ٥ ـ ٢) .



(شكل ٥ ـ ٢)
تأثير درجة حرارة محيط الجذور على تراكم المادة الجافة في الطماطة (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

ويعتقد الباحث ان سبب الزيادة في النمو وتراكم المادة الجافة يعود الى زيادة امتصاص البوتاسيوم والفسفور (جدول ٥ ـ ٥) حيث ان انخفاض درجة الحرارة الى ١٥م أو اقل يسبب انخفاض كبير في امتصاص هذين العنصرين. اما Moorby (١٩٨٠) يعتقد ان زيادة نمو النباتات النامية في وسط مدفأ تعود الى انتاج اوراق كبيرة الحجم وبذلك فأن معدل التركيب الضوئي وانتقال المواد المصنعة في وحدة المساحة من هذه الاوراق يكون كبيراً ايضاً. كما لاحظ Moorby و Graves (١٩٨٠) ان هناك تغيرات كبيرة في الجذور المدفأة حيث كان المجموع الجذري كبير نتيجة لزيادة طول الجذور وعدد التفرعات الجذرية وقد تغير التركيب التشريحي للجذور ايضاً حيث كان عدد طبقات خلايا القشرة (Cortex) قليل وخلايا الخشب كانت متخصصة بصورة جيدة مما ساعد على زيادة معدل النتح وزيادة في امتصاص الماء والعناصر المعدنية. وعلى العكس من ذلك فقد ذكر Graves (١٩٨٤) من خلال استعراضه للبحوث ان جذور النباتات النامية في وسط ذات درجة حرارة منخفضة كانت البشرة الداخلية (Endodermis) متسبرنة (Suberized) وان تراكم السيوبرين وصل الى قرب القمم النامية من الجذور مما ادى الى خفض فعالية الجذور في امتصاص الماء والعناصر المعدنية بما في ذلك الكالسيوم والفسفور. وفي تجربة لدراسة تأثير التداخل بين تدفئة التربة وحرارة المحيط على كمية الحاصل في الطماطة وجد Maher (١٩٧٨) ان النباتات النامية في وسط مدفأ (٢٥م) ومحيط هوائي ذات حرارة منخفضة اثناء الليل (١٣م) ازداد الحاصل فيها الى ١٨,٩ كغم/ م٢ مقارنة بـ ١٥,٩ كغم/ م٢ لنفس درجة الحرارة اثناء الليل الا ان الجذور غير مدفأة. وحصل Morgan و OHaire (١٩٧٨) على زيادة في الحاصل المبكر من الطماطة بمقدار ٢٥٪ وفي الحاصل الكلي ١٧,٥٪ تحت ظروف درجة حرارة المحيط الهوائي ١٢,٢م وحرارة وسط النمو ٢٥,٥م وقد استنتج هذان الباحثان ان اتباع هذا التكنيك يقلل من كلفة تدفئة المحيط الهوائي للبيوت الزجاجية بمقدار ٣٠٪. وفي دراسة قام بها Trudel و Gosselin (١٩٨٢) حول تأثير درجة حرارة وسط الجذور مع بقاء درجة الهواء دون تغير (اعتيادية) على نمو وانتاج نباتات الطماطة في البيت الزجاجي المزروعة في العروتين الربيعية والخريفية. النتائج اوضحت ان رفع درجة حرارة محيط الجذور من ١٤م الى ٢١,٨م في الربيع ومن ١٣,٨م الى ٢٠,٥م في الخريف تسبب في زيادة حاصل الدرجة الاولى والحاصل الكلي. فقد بلغت الزيادة في الحاصل في الموسم الربيعي حوالي ٤٧٪ في حين كانت الزيادة في الموسم الخريفي ٥٪ فقط (جدول ٥ ـ ٦).

(جدول ٥ ـ ٥)

تأثير درجة حرارة محيط الجذور على النسبة المئوية للنتروجين والفسفور والبوتاسيوم في انسجة نباتات الطماطة (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

درجة الحرارة (م)	٪ النتروجين	٪ الفسفور	٪ البوتاسيوم
١٥	٣,٨	٠,٥٢	٤,٠
٢٠	٤,٤	٠,٧٧	٤,٨
٢٥	٣,٨	٠,٧١	٤,٦
٣٠	٤,١	٠,٧٠	٤,٩

(جدول ٥ ـ ٦)

تأثير درجة حرارة التربة على حاصل الطماطة المزروعة في البيوت الزجاجية (مأخوذة عن Gosselin, Trudel ، ١٩٨٢) .

موسم الزراعة	درجة حرارة التربة (م)	حاصل الدرجة الاولى (كغم / م٢)	الحاصل الكلي (كغم / م٢)
الموسم الربيعي	١٤,ـ	٦,٢	٨,٧
	٢١,٨	١٠,٥	١٢,٨
الموسم الخريفي	١٣,٨	٥,٦	٧,٦
	٢٠,٥	٧,١	٨,ـ

تركيز الاوكسجين في المحلول المغذي :

في حالة الزراعة في نظام مغلق وبدون استخدام وسط صلب كما في الزراعة في محلول مغذي أو استخدام تكنيك فلم المحلول المغذي تظهر مشكلة سوء التهوية . ويعود سببها الى ان درجة ذوبان الاوكسجين في الماء بطيئة جداً وان النباتات النامية في هذه المحاليل تحتاج الى الاوكسجين لاستمرار عملياتها الحيوية والا

تعرضت الى ظروف التنفس اللاهوائي (Anaerobic) . وقد ذكر Hewitt (١٩٦٦) في استعراضه للبحوث الخاصة بتهوية المحاليل المغذية ان تعرض جذور النباتات الى ظروف التنفس اللاهوائي ينتج عنها زيادة كبيرة في تحرر المواد العضوية . وقد وجد Chao, Soldatenkov (١٩٦١) ان قابلية استمرار بقاء الجذور حية تحت ظروف النقص الشديد في الاوكسجين تختلف بأختلاف نوع النبات وظروف الزراعة . فقد وجد ان الجذور المقطوعة (Excised roots) من الفاصوليا قد ماتت خلال ٢٤ ساعة في غياب الاوكسجين في حين ان جذور الذرة الصفراء استمرت لفترة ٢٦ ـ ٣٠ ساعة وجذور الجزر لفترة ٧٧ ساعة تحت نفس الظروف اما في حالة الجذور الغير مقطوعة (الجذور متصلة بالنبات) في نباتات الفاصوليا فقد وجد انها بقيت حية لمدة ٦ ايام بدون تهوية .

ان تركيز الاوكسجين ينخفض عند رفع درجة حرارة المحلول المغذى حيث وجد Jackson (١٩٨٠) ان تركيز الاوكسجين انخفض بصورة تدريجية كلما ارتفعت حرارة المحلول المغذى (جدول ٥ ـ ٧) .

(جدول ٥ ـ ٧)
تأثير درجة حرارة المحلول المغذي على تركيز الاوكسجين فيه (مأخوذة عن Jackson ، ١٩٨٠)

درجة الحرارة (م)	تركيز الاوكسجين في المحلول المغذى (جزء في المليون)
١٥	١٠,٢
٢٥	٨,٥
٣٥	٧,١
٤٥	٦,٥

ان ارتفاع حرارة المحلول المغذى لاتؤدي الى خفض تركيز الاوكسجين فحسب وانما تزيد من معدل سرعة التنفس حيث انها تتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة قدرها ١٠ درجات مئوية ولغاية ٣٠ م . وقد وجد Hurd (١٩٧٨) ان جذور نباتات الطماطة في مرحلة النضج والاثمار تحتاج الى ٢٠ مل من

الاوكسجين/ ساعة وبذلك عندما كان دوران المحلول المغذى بمعدل ١ ـ ٢ لتر/ دقيقة وجد ان ٢٠ ـ ٤٠ نبات نامية استنفذت جميع الاوكسجين خلال ساعة واحدة هذا على افتراض ان جميع الجذور مغمورة في المحلول المغذى وان هذا المحلول غيرمعرض للهواء (Hydroponic) . اما في حالة الزراعة في تكنيك فلم المحلول المغذى يكون قسم من الجذور مغمور في المحلول وان حجم المجموع الجذري المغمور يعتمد على عرض وعمق ساقية الزراعة . ان نمو الجذور الكثيف في السواقي يعرقل من حركة المحلول المغذى وينتج عن ذلك سريان المحلول حول حدود المجموع الجذري دون النفاذ بين التفرعات الجذرية مما يسبب غمر للجذور في محلول راكد نسبيا ذات تركيز منخفض جدا من الاوكسجين . وقد ذكر Jackson (١٩٨٠) ان نباتات الطماطة النامية في محلول مغذى (٢ لتر/ نبات) على درجة حرارة ١٠ م تحتاج لان يستبدل المحلول المغذى مرتين/ ساعة للحفاظ على تركيز الاوكسجين الملائم وعندما رفعت درجة الحرارة الى ٢٠ م فان معدل استبدال المحلول كان ٥ مرات/ ساعة وعند درجة ٣٠ م فأن المحلول يجب ان يستبدل ١٢ مرة/ ساعة . وبصورة عامة يقاس تركيز الاوكسجين الذائب في المحلول المغذى لتقدير حاجة النباتات الى التهوية ويجب اجراء مثل هذا القياس بشكل دوري . ان تركيز الاوكسجين ينخفض في المحلول المغذى عند اجراء مقارنة بين تركيزه في بداية الساقية (مصدر التغذية) ونهاية الساقية (موقع تجمع المحلول) (Alwan و Newton ، ١٩٨٤) . وكان قد وجد Maher (١٩٧٧) ان معدل نمو نباتات الطماطة في تكنيك الفلم المغذى تأثر بمستوى تدرج تركيز الاوكسجين على امتداد الساقية حيث كان تركيز هذا الغاز في المحلول المغذي في نهاية الساقية ٣ جزء في المليون فقط مقارنة بـ ٦,٧ جزء في المليون في بداية الساقية . وقد لوحظ ايضا انه عندما رفع معدل دوران المحلول المغذى من ١ لتر/ دقيقة الى ٤ لتر/ دقيقة تحسن نمو النباتات . كما ان نوع النبات يختلف في معدل سرعة استنفاذه للاوكسجين فقد لوحظ ان ساقية طولها ٧,٦ مثبتة بانحدار ١ : ٥٠ زرع فيها ٧ نباتات خيار وجهزت بمحلول مغذي يحتوي على ٦,٧ جزء في المليون O_2 أصبح تركيز هذا الغاز ٢,٧ جزء في المليون في نهاية الساقية أي ان النباتات استنفذت حوالي ٦٠ ٪ من الاوكسجين في المحلول في حين ان ١٦ نبات طماطة كانت مزروعة في ساقية مماثلة استنفذت ١٦ ٪ من اوكسجين المحلول المغذى تحت نفس الظروف (Gislerod و Kempton ، ١٩٨٣) مما استنتج ان جذور الخيار لها معدل تنفس اكبر من جذور الطماطة . وقد وصف Jackson (١٩٨٠) ان تعرض الجذور الى ظروف التنفس اللاهوائي ينتج عنه انخفاض في معدل نمو النباتات وشيخوخة مبكرة وتساقط للاوراق وانحناء الاوراق نحو الاسفل (Epinasty) ونمو الجذور الهوائية على الساق . هذه الصفات في الحقيقة هي نفس صفات النباتات النامية تحت ظروف

التربة الغدقة التي تسبب زيادة في تحرر الاثلين من جذور النباتات . مما تقدم تتضح اهمية توفر الاوكسجين الملائم وذلك باستخدام مضخات هواء خاصة لتهوية المحلول المغذى في حالة الزراعة في مثل هذه الانظمة لكي نتجنب حصول حالات اختناق للنباتات وتعرضها الى الاجهاد الاوكسجيني (Oxygen Stress) .

References

1- Alt, D., Changes in the composition of the nutrient solution during plant growth-an important factor in soilless culture. Preceedings of the Fifth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, PP. 97-109 (1980).

2- Alwan, A.H., and Newton, P., Disselvel oxygen, root growth, nutrient uprake and yield, of tomatoes, Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture I.S.D.S.C., Luntern, PP. 81-112. (1984).

3- Benton-Jones, J., Hydreponics, its history and use in plant nutrition studies. Journal of Plant Nutrition 5: 1003-1030 (1982).

4- Cooper, A.J., Commercial applications of NFT. Grower Books LTD. England (1978).

5- Cooper, A.J., The ABC of NFT. Grower Books Ltd. England (1979).

6- Gislerod, H.R., and Kempton, R.J., The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. Scientia Horticuturae 20: 23-33 (1983).

7- Graves, C.J., The nutrient film technique-Horti-cultural Reviews: 1-44 (19).

8- Hewitt, E.J., Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Bucks, England (1966).

9-Hoagland,D.R.,and Arnon, D.I.,The water-culture method for growing plants with-out soil. Circulation California Agricult-ural Experiment Station No. 347 revised by D.I. Arnon (1950).

10- Hurd, R.G., The root and its environment in the nutrient film technique of water culture. Acta Horticulturae 82: 87-97 (1978).

11- Jackson, M.B., Aeration in the nutrient film technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dixide. Acta Horticulturae 98: 61-78 (1980).

12- Maher, M.J., The use of hydroponics for the production of greenhouse tomatoes. Ireland Proceedings as the Forth International Congress on Soilless Culture, I.W.O.S.C., Las Palma, PP. 161-169 (1977).

13- Maher, M.J., The effect of root zone warming on tomatoes grown

in nutrient solution at two air temperature. Acta Horticlturae 82: 113-120 (1978).

14- Moorby, J., Effects of manipulating root and air temperatures on tomato growth and the efficient use of energy. PP. 183-194 In: Hurd, R.G., P.V. Biscoe and C. Dennis (eds). Opportunities of Increasing crop yields. Pitman, London (1980).

15- Moorby, J. and Graves, C.J., The effect root and air temperature on the growth of tomatoes. Acta Horticulturae 98: 29-43 (1980).

16- Morgan, J.V., and OHaire, R., Heated hydroponic solutions an energy saving technique. Acta Horticulturae 76: 173-181 (1978).

17- Pill, W.G., Lambeth, V.N., and Hinckly, Y.M. Effects of nitrogen form and level on ion concentrations, water stress, and blossom-endpoot incidence in tomato. Journal of American Society for Horticultural Science 103: 265-268 (1978).

18- Resh, H.M., Hydroponic food production. Adefinitive guidebook as soilless food growin method. Woodbridge Press Publishing Company, Sants Barbara California, USA (1978).

19- Soldatenkov, S.V., and Chao, H.T., The role of bean and corn leaves in respiration of oxygen deprived roots. from translation in Soviet Plant Physiology 3: 385 (1961).

20- Spensley, K., Winsor, G.W., and Cooper, A.J. Nutrient film technique-corp culture in flowing nutrient solution. Outlook in Agriculture 9: 299-305 (1978).

21- Trelease, S.F., and Trelease, H.M., Changes in hydrogen ion concentration of culture solution containing nitrate and ammonium nitrogen. American Journal as Botany 22: 520-542 (1935).

22- Trudel, M.J., and Gosselin, A., Influence of soil temperature in greenhouse tomato Production HortScience 17: 928-929 (1982).

23- Wilcox, G.E., The future of hydroponies. Journal of Plant Nutrition 5: 1031-1038 (1982).

24- Willumsen, J., PH of the flowing nutrient solution. Acta Horticulturae 98: 191-199 (1980).

الفصل السادس

نظام الزراعة بدون استخدام وسط صلب

المقدمة :

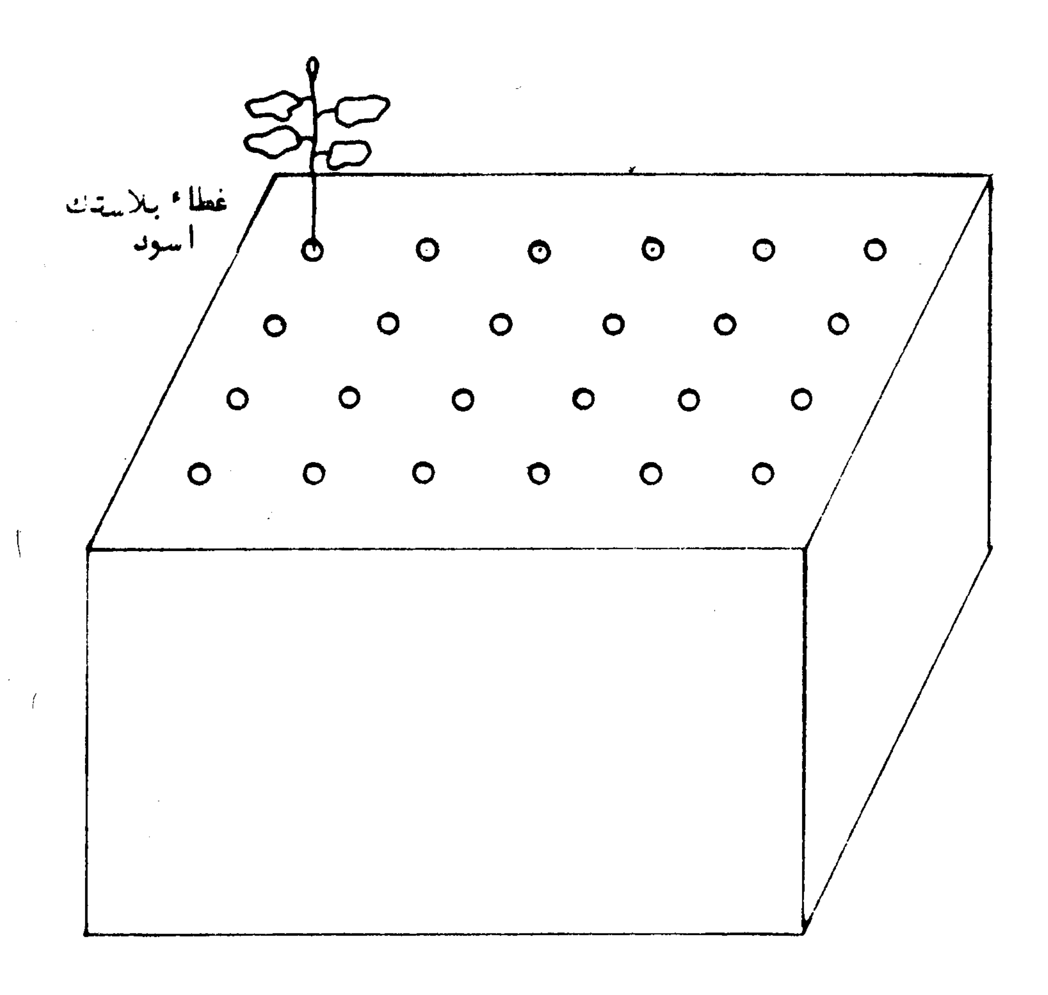
ان الزراعة بدون استخدام تربة أو اي وسط صلب هي ليست طريقة حديثة وانما تعود الى منتصف القرن التاسع عشر حيث استطاع Knop (١٨٦٥) من تحضير محلول مغذي يحتوي على معظم العناصر الضرورية الكبرى للنباتات . وقد استخدم هذه الطريقة من الزراعة Gericke (١٩٤٠) لاغراض البحوث العلمية خصوصاً التغذية المعدنية . هذا الباحث استخدم نظام الزراعة في محاليل مغذية دون تحريك أو دوران مستمر (Static Solution) . كما ان هناك باحثين آخرين مثل Asher وآخرون (١٩٦٥) و Clement وآخرون (١٩٧٤) استخدموا هذا النظام من الزراعة لاغراض البحوث ايضاً الا ان الاختلاف هو ان المحلول المغذي المستخدم كان في حركة أو دوران مستمر حول الجذور (Circulated Solution) . وفي منتصف الخمسينات بدأ Allen Cooper ابحاثه حول امكانية استخدام هذا النظام من الزراعة في الانتاج التجاري لبعض المحاصيل الزراعية خصوصاً الخضراوات كالطماطة والخيار والخس وغيرها . ويوجد في الوقت الحاضر نظامين من الزراعة بدون استخدام وسط صلب هما الزراعة في محلول مغذي عميق Deep Hydroponic أو الزراعة في طبقة ضحلة من المحلول المغذي يطلق عليه تكنيك فلم المحلول المغذي (Nutrient, Film Technique, NFT) ولكل من هذين النظامين مزاياه ومساؤه .

نظام الزراعة في محلول مغذي عميق Deep Hydroponics

الزراعة في هذا النظام تعني ان النباتات تزرع في وسط يختلف عن وسط الزراعة في التربة بصورة كاملة ماعدا وجود الماء والاملاح المعدنية الذائبة والهواء . ومن مميزات هذا النظام الزراعي هي ان الجذور تكون مغمورة تماماً في المحلول المغذي حيث تقوم بامتصاص الماء والعناصر المعدنية وتجهزها الى اجزاء النبات الاخرى . اما تثبيت النباتات فيتم من خلال ربطها وتسليقها بخيوط في داخل البيت الزجاجي او البلاستيكي . مما تقدم يتضح انه تم التعويض عن ماتوفره التربة للنبات ماعدا امور اخرى مثل وجود بعض الاحياء المجهرية التي تقوم ببعض العمليات الحيوية في التربة تفيد النبات مثل بكترية الرايزوبيوم (Rhizobium) المثبتة للنتروجين الجوي وغيرها الا ان مايقابل هذه الفائدة غالباً مايسبب بعض الاحياء المجهرية في التربة امراضاً للنباتات قد تؤدي الى ضعف نموها وموتها وبالتالي فقدان المحصول مثل فطريات الفيوزاريوم (Fusarium) والبثيوم (Pythium) والفايتوفثورا (Phytophthora) وغيرها .

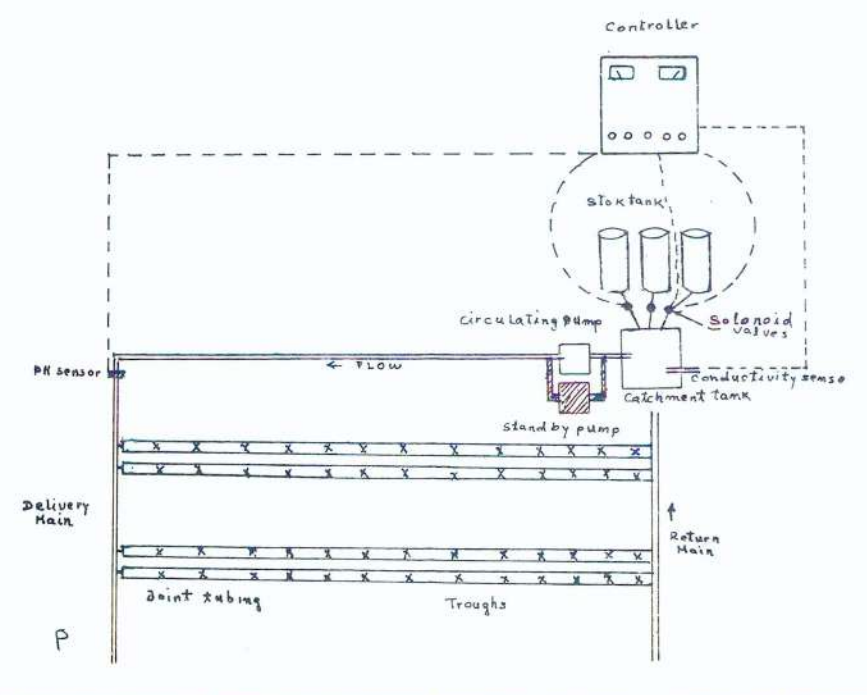
لغرض استخدام هذا النظام من الزراعة يمكن بناء حوض كبير يحتوي على المحلول المغذي ومغطى بطبقة من البلاستيك الاسود وتعمل ثقوب في هذا الغطاء بحيث تعلق من خلال فتحاته النباتات (شكل ٦ ـــ ١) .

ويكون مستوى المحلول المغذي في هذا الحوض ثابت حيث عندما ينخفض بسبب النتح يضاف له الماء أما يدوياً أو باستخدام طوافه متصلة بمصدر مائي ويعاد المستوى للمحلول المغذي الى الطبيعي . الا ان مشكلة الزراعة بهذه الطريقة هي ان عدم تحريك المحلول ينتج عنه تراكم للمواد خصوصاً العضوية التي تفرزها الجذور التي قد يكون للبعض منها تأثير سيء على نمو النباتات . كما وقد يحصل تدرج في تركيز العناصر المعدنية بين سطح الجذور (مواقع الامتصاص) وبقية اجزاء المحلول المغذي أي ان المحلول المغذي القريب من سطح الجذور يكون ذات تركيز مخفف من الايونات مقارنة بذلك البعيد عنها . كما ان نمو النباتات لفترة زمنية قد تطول او تقصر حسب نوع النبات تسبب استنفاذ الاوكسجين الذائب مما يعرض النباتات الى ظروف نقص الاوكسجين (ظروف التنفس اللاهوائي) . وبهدف التغلب على المشاكل المذكورة اعلاه اتبع نظام نظام في محلول عميق مع التحريك أو الدوران المستمر . وتتلخص هذه الطريقة بعمل احواض للزراعة على هيئة سواقي مصنوعة من الخشب أو اي مادة اخرى مبطنة بالبلاستيك السميك بحيث تمنع تلامس المحلول مع المواد المصنوعة منها السواقي داخل البيت الزجاجي على مساطب أو مساند مرتبة بانحدار معين تنتهي بحوض يحتوي على المحلول المغذي . في هذه الحالة يضخ المحلول



(شكل ٦ ـ ١) حوض كبير فيه المحلول المغذي ومغطى بالبلاستيك عملت فيه ثقوب لزراعة النباتات .

المغذي من الحوض الى سواقي أو احواض الزراعة التي ترتبط من نهاياتها بانبوب تجميع المحلول وهذا الانبوب يرتبط بحوض المحلول المغذي وبذلك تحصل عملية دوران المحلول المغذي في النظام (شكل ٦ ـ ٢ أ ، ب) .
وقد تستخدم مضخات هواء للمحلول المغذي حيث تقوم بضخ الهواء الى المحلول سواء في احواض الزراعة أو الحوض الرئيسي للمحلول المغذي (شكل ٦ ـ ٣) .

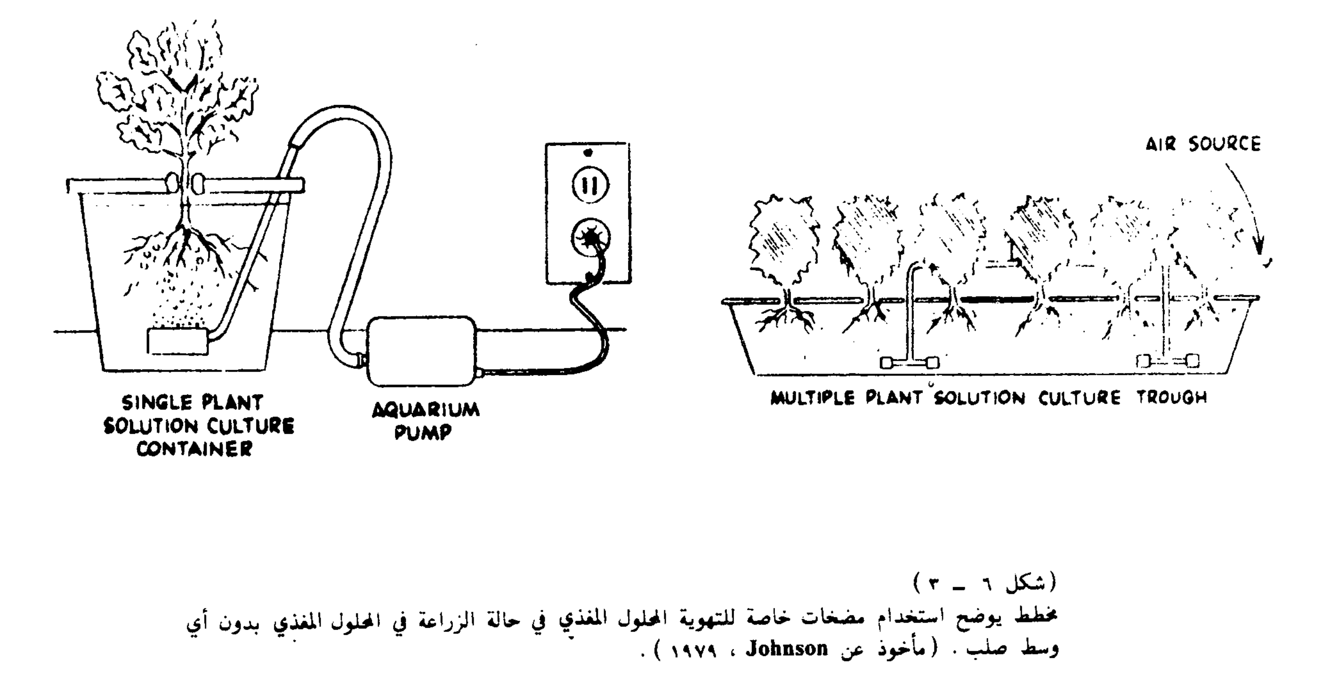


أ



ب

شكل ٦ ـ ٢
مخطط لمزرعة في محلول مغذي في دوران مستمر (أ) مزرعة داخل بيت زجاجي فيها المحلول المغذي في دوران مستمر (ب).



(شكل ٦ ـ ٣)
مخطط يوضح استخدام مضخات خاصة للتهوية المحلول المغذي في حالة الزراعة في المحلول المغذي بدون أي وسط صلب . (مأخوذ عن Johnson ، ١٩٧٩) .

تكنيك فلم المحلول المغذي (NFT) :

تم تطوير هذا النوع من الزراعة في محطة ابحاث البيوت الزجاجية في مدينة Little hampton في انكلترا وذلك في نهاية الستينات . وقد بدأ استخدام الـ NFT بصورة تجارية في انكلترا في بداية السبعينات بعد ان تم وصف التكنيك بصورة جيدة للعاملين في مجال البستنة من خلال وسائل الاعلام المختلفة خصوصاً المجلات العلمية والزراعية . وبالرغم من عدم توفر المعلومات العلمية الدقيقة حول هذا النظام الا ان المعلومات البسيطة التي يمتلكها المزارع الاوربي مكنته من استخدام هذا النظام وحصل على زيادة ملحوظة في انتاجه مما شجع بقية المزارعين الاقبال على استخدام هذا النظام سواء في المناطق المعتدلة والباردة أو المناطق الحارة الجافة في دول العالم المختلفة . نتائج الابحاث خلال العشرين سنة الماضية لاختيار هذا النمط الزراعي اكدت ان هذا النظام تميز من حيث الكفاءة والانتاجية مقارنة بالطريقة الاعتيادية (الزراعة في تربة أو اية طريقة اخرى يستخدم فيها وسط صلب للزراعة) خصوصاً عندما يستخدم نمط الزراعة في الـ NFT المتطور الذي تستخدم فيه الحاسبة الالكترونية للسيطرة الدقيقة على الظروف البيئية للجذور . ويمكن تعريف NFT هو دوران طبقة ضحلة من المحلول المغذي حول جذور النباتات النامية فيه لكي يجهزها بالماء والعناصر المعدنية والهواء. حيث تزرع النباتات في سواقي مبطنة بالبلاستيك من الداخل لتمنع تسرب الماء الى خارج النظام . وتكون السواقي موضوعة بانحدار معين بحيث يضخ المحلول الى النهاية المرتفعة من الساقية فينساب حول الجذور باتجاه النهاية السفلية من الساقية بفعل الجاذبية الارضية ليصب في انبوب التجميع الذي ينتهي بالحوض الرئيسي للمحلول المغذي

يتم قياس تركيز الايونات الذائبة في المحلول المغذي في هذا الحوض ويضبط بصورة منتظمة كما يتم ضبط درجة الحرارة ودرجة حموضة المحلول ايضاً . ويمكن اجراء السيطرة للصفات اعلاه أما يدوياً أو تلقائياً باستخدام اجهزة السيطرة الخاصة بذلك .

مميزات نظام الزراعة بالـ (NFT) :

١ ـ ان الابحاث التي اجريت خلال الاربعين سنة الماضية لتحسين انتاجية الحاصيل في البيوت الزجاجية تمخضت عن انتاج اصناف تجارية ذات انتاجية عالية مما ينتج عن ذلك زيادة عمودية في انتاجية وحدة المساحة في البيت الزجاجي . فمثلا الطماطة التي لها موسم طويل من النمو في البيوت

الزجاجية امكن رفع انتاجية المتر المربع الواحد الى ٣٠ كغم عندما استخدم هذا النمط من الزراعة مقارنة بانتاجية المتر المربع الواحد في الخمسينات التي لم تزيد حينذاك عن ٢٠ كغم تحت نفس الظروف الا ان الزراعة كانت في تربة . هذا يعني ان انتاجية بيت بلاستيكي مسيطر عليه من حيث الحرارة والرطوبة ذات مساحة ١٨٠ م٢ تصل الى خمسة اطنان واربعمائة كيلوغرام طماطة اذا استخدم هذا النمط الزراعي مقارنة بثلاثة اطنان وستمائة كيلوغرام بالزراعة العادية .

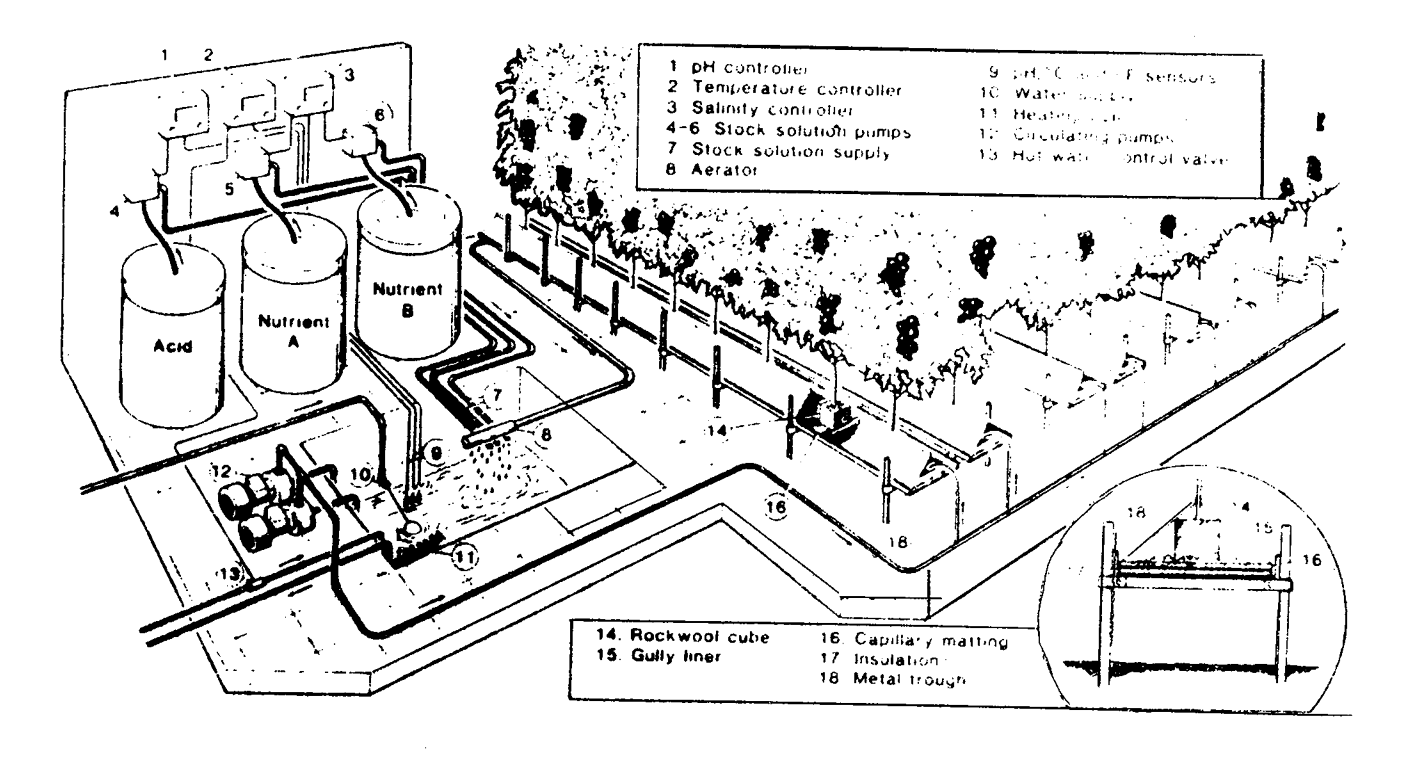
٢ ـ من المشاكل التي يواجهها المزارع هي تدهور تربة البيت الزجاجي أو البلاستيكي بمرور الزمن حيث تتدهور نسجتها وتتراكم الاملاح فيها وعدم تجانس الرطوبة اضافة الى انتشار الامراض والحشرات نتيجة لتعاقب زراعة محاصيل من نفس العائلة النباتية . ان استخدام الزراعة بالـ NFT أو اي زراعة بدون تربة يمكن ان نتجاوز هذه المشاكل وذلك بأن يستبدل المحلول المغذي لعدة مرات خلال موسم النمو اضافة الى استبدال المواد المبطنة سواقي الزراعة عند الضرورة في نهاية كل موسم .

٣ ـ في حالة الزراعة الاعتيادية بصورة عامة تجرى عملية تبخير التربة لغرض تعقيمها الا ان المشكلة هي ارتفاع تكاليف هذه الطريقة بسبب ارتفاع تكاليف الوقود وتكاليف اجراء العملية مما دفع المزارعين للاتجاه باستخدام الـ NFT الذي يحتاج الى استبدال بلاستيك التبطين فقط في نهاية كل موسم زراعي وهو رخيص الثمن عادة .

٤ ـ ان الزراعة في محلول مغذي عميق (Deep Hydroponics)ينتج عنه نقص مستمر في الاوكسجين وتخفيف في تركيز العناصر المعدنية فينتج عن ذلك تثبيط للنمو بمرور الزمن في حين في حالة الزراعة في الـ NFT الذي هو عبارة عن طبقة خفيفة (ضحلة) من المحلول حول الجذور فيكون قسم من المجموع الجذري غير غاطس في المحلول (الا انه ضمن المحيط الرطب للساقية) مما يسمح لها بالتنفس في حين ان المجموع الجذري الغاطس في المحلول هو الذي يقوم بامتصاص الماء والعناصر المعدنية . كما ان المحلول المغذي في الـ NFT يكون في دوران مستمر مما ينتج عنه تجانس كبير لتركيز العناصر المعدنية فيه ويوفر اوكسجين كافي حول الجذور الغير غاطسة .

تفاصيل نظام الـ (NFT) :

المخطط التالي هو عبارة عن مزرعة NFT في انكلترا (شكل ٦ ـ ٤) وقد اوصى Graves (١٩٨٤) بأن مساحة مزرعة الـ NFT يجب ان لاتزيد على ٠,٤ هكتار (١,٦ دونم) .



(شكل ٦ ـ ٤)
مخطط لمزرعة NFT في انكلترا يظهر فيها كافة المعالم المهمة الخاصة بهذا النمط من الزراعة (مأخوذ عن Graves ، ١٩٨٤).

١ ـ نوعية الماء Water Quality

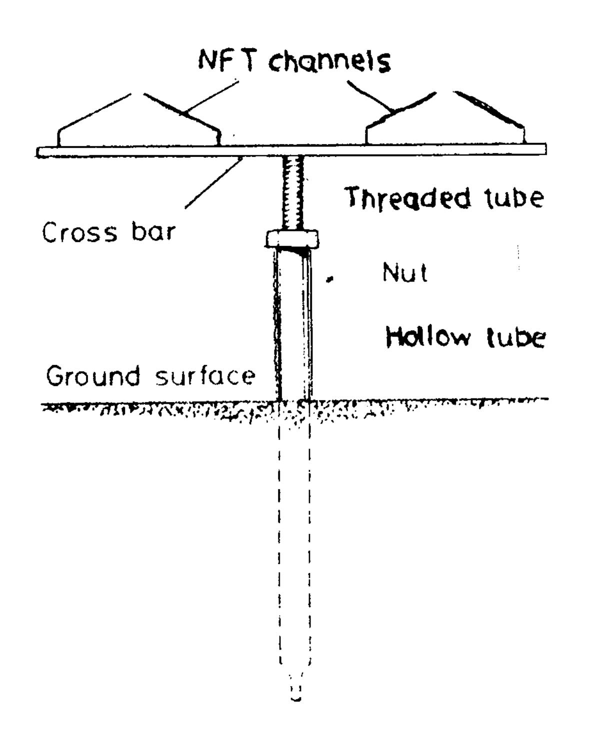
قبل ان تتم عملية الزراعة للنباتات في السواقي يجب اجراء تحليل الماء الذي سيستخدم في تحضير المحلول المغذي والسبب هو لتحديد كميات العناصر المعدنية التي ستضاف للمحلول المغذي بعد طرح الكميات الموجودة اساساً مذابة في الماء خصوصاً الكالسيوم والمغنيسيوم . كما يجب قياس درجة حموضة الماء (pH) الذي سيستخدم في تحضير المحلول المغذي كما يجب قياس درجة التوصيل الكهربائي له (EC). وتجرى قياسات لتقدير النتروجين (بصورة نترات) والفوسفات والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكبريتات والكاربونات والصوديوم والكلور والنحاس والزنك والحديد والبورون . هذه الايونات عندما تكون في المحلول المغذي يجب ان تكون في حالة توازن ايوني بين الايونات الموجبة والسالبة على اساس تساوي مجموع اوزانها المكافئة (أي ان مجموع الاوزان المكافئة للايونات السالبة مساوي الى مجموع الاوزان المكافئة للايونات الموجبة) . في حالة وجود عسرة في الماء بسبب وجود املاح الكالسيوم من الضروري اضافة حامض النتريك (HNO_3) أو حامض الفسفوريك (H_3PO_4) لكي تنخفض درجة حموضته من ٧ الى ٦ . وبناء على ذلك يجب التأكد من كمية النتروجين أو الفسفور المضافة للمحلول المغذي بسبب اضافتها للمحلول لكي تطرح من كمية الفوسفات أو النترات الواجب اضافتها للمحلول المغذي عند تحضيره .

يجب الاهتمام في موضوع تركيز الاملاح الذائبة في الماء خصوصاً ملح كلوريد الصوديوم حيث يسبب تراكم هذه الاملاح تثبيط لنمو النباتات وقد وجد ان نمو حاصل الطماطة انخفض كثيراً بزيادة تركيز هذا الملح (NaCl) في المحلول المغذي (Waller, Attenburrow ، ١٩٧٩ و Al-Sahaf ، ١٩٨٦) . وفي بعض الدول التي يكون محتوى الماء من الاملاح عالي تبنى احواض كبيرة بهدف تجميع مياه الامطار التي تكون ذات محتوى واطي من الاملاح بهدف استخدامه في الزراعة في الـ NFT . الا ان لاستخدام هذا الماء مساوئه ايضاً حيث يجب اضافة كميات من الكالسيوم والمغنيسيوم اكثر مما في حالة استخدام ماء الشرب . ولايضاح اهمية نوعية الماء فقد اوضح Spensley وآخرون (١٩٧٨) . إن بيت زجاجي ذات مساحة ١,٦ دونم يحتوي على ١٢,٠٠٠ نبات يفقد مامقداره ١٦,٠٠٠ لتر من الماء في اليوم الصيفي المشمس . فلو كان حجم الحوض الرئيسي هو ١٥,٠٠٠ لتر فذلك يعني ان ماء المحلول المغذي يستبدل بصورة كاملة يومياً . وبذلك فإن الايونات الموجودة في الماء تتراكم عدة اضعاف تركيزها في المحلول المغذي خلال اسبوع أو عشرة ايام اذا لم تمتص من قبل النباتات بنفس معدل تراكمها . لبعض هذه الايونات تأثير سمي اذا ارتفع تركيزها الى حد معين كالكلور والصوديوم . ومن

خلال التجارب لوحظ ان ايونات الكبريتات والكلور والصوديوم تتراكم في المحلول المغذي لدرجة يستوجب فيها استبدال المحلول المغذي بكامله (Asher ، ١٩٨١ و Howeler وآخرون ، ١٩٨١) . كما لوحظ ان جذور النباتات تفرز كميات ملحوظة من المركبات العضوية الى المحلول المغذي (Hurd و Gay ، ١٩٧٦) . ويعتقد ان لبعض هذه المواد تأثير سلبي على نمو النباتات خصوصاً تلك التي تؤثر على النمو كالهرمونات او الاحماض الامينية الا ان Sims (١٩٧٧) لم يتمكن من تأكيد التأثير السلبي لهذه المواد على نباتات الطماطة .

موقع السواقي وانحدارها :

بالنسبة لساقية الزراعة يجب ان يكون فيها انحدار بين احدهما حسب طول الساقية والثاني هو انحدار الساقية على احد جوانبها عرضياً . المحلول المغذي يتجمع في النهاية المنخفضة من ساقية الزراعة كما سبق شرحه وربما يتجمع في انبوب التجميع المدود عرضياً حيث يقوم بجمع المحلول المغذي من عدد من السواقي . ان وضع السواقي بهذا الانحدار البسيط على طول الساقية هو لتأمين استمرارية انسياب المحلول المغذي حول جذور جميع النباتات المزروعة في تلك الساقية . وبصورة عامة لوحظ ان افضل انحدار هو $\frac{١}{٥٠}$ أو $\frac{١}{٧٥}$ واذا كان الانحدار أقل من $\frac{١}{١٠٠}$ فإن حركة المحلول المغذي تكون بطيئة وغير متجانسة (Spensley وآخرون ، ١٩٧٨ و Jenner ، ١٩٨٠) . في حالة وضع سواقي الزراعة على ارض البيت الزجاجي مباشرة من الضروري ان تكون بانحدار معين وان قاع الساقية يكون مستوى والا يتجمع المحلول المغذي في الاماكن المنخفضة فيكون راكد وبالتالي سيكون له تأثيرات سلبية على نمو النباتات . وبصورة عامة تحصل ظاهرة عدم استواء قاعدة الساقية عند وضع هذه السواقي على تربة البيت الزجاجي مباشرة مهما كانت الاحتياطات المتخذة كبيرة . وبسبب هذه المشكلة فإن اغلب مزارعي البيوت الزجاجية بطريقة الـ NFT يستخدمون قواعد حديدية مصنوعة من الحديد المغلون لتثبيت السواقي وذلك برفعها أو خفضها حسب الانحدار المطلوب وذلك باستخدام لوالب لها القابلية على تخفيض أو رفع الساقية (شكل ٦ ـ ٥) . وفي عام ١٩٧٨ وصف Wilson طريقة ابسط من الطريقة السابقة للتحكم في مستوى السواقي ودرجة انحدارها تتلخص هذه الطريقة بأن تكون السواقي معلقة بواسطة حوامل حديدية ذات قابلية للتحكم بارتفاعها أو انخفاضها (برغي) وهذه الحوامل مثبتة على انابيب التدفئة في البيت الزجاجي أو أية قواطع طولية أو عرضية مثبتة في سقف البيت الزجاجي . اما السواقي فاما ان تكون مصنوعة من الخشب المبطن بالبلاستيك أو الالمنيوم أو من البلاستيك .



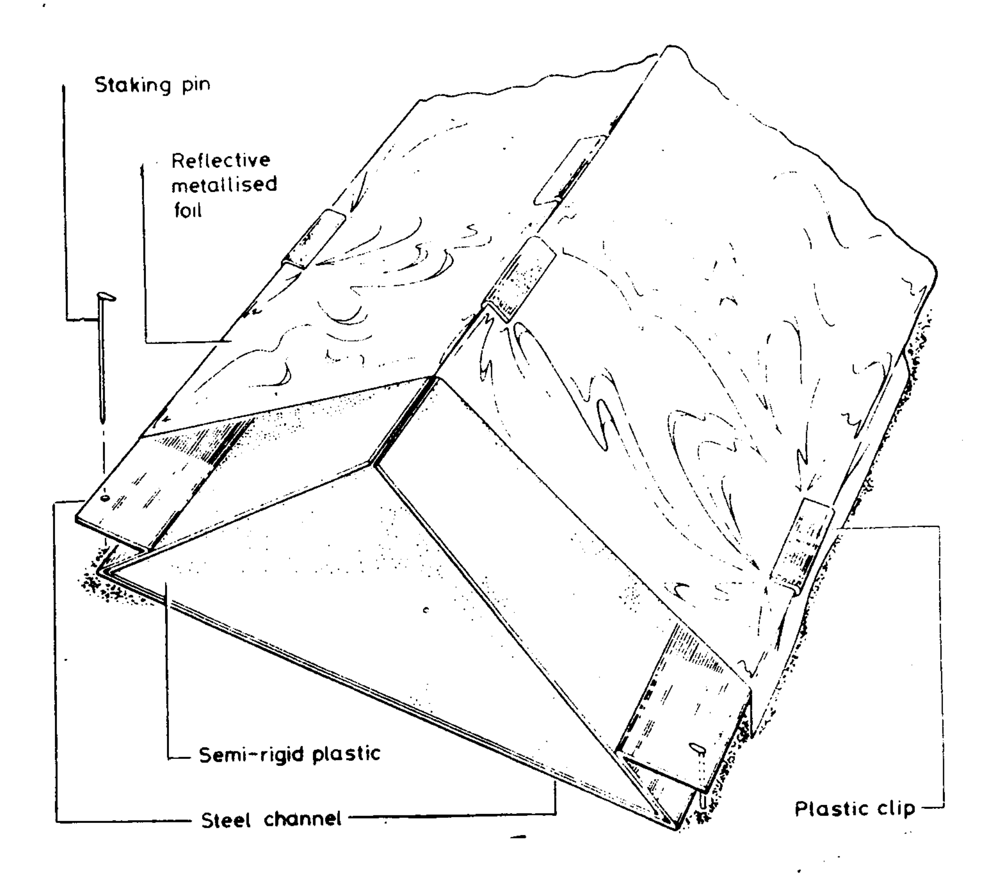
(شكل ٦ ـ ٥)
مخطط يوضح كيفية التحكم في ارتفاع ومستوى السواقي داخل البيت الزجاجي أو البلاستيكي (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩).

ويجب التأكيد بانه في حالة وضع السواقي على تربة البيت الزجاجي مباشرة من الضروري وضع طبقة بلاستيكية تحت الساقية لمنع انتقال المسببات المرضية كالفطريات والبكتريا الى داخل الساقية .

السواقي وطرق تهيأتها :

يستخدم تجاريا البولي اثيلين ذات قياس ٦٠٠ ـ ١٠٠٠ اي مايعادل ١٥٠ ـ ٢٠٠ ميكروميتر وذات عرض ٥٠ الى ٧٥ سم لتبطين السواقي وكلما كان البولي اثيلين سميك كلما كان السطح السفلي اكثر استواء وافضل لحركة المحلول المغذى . وبصورة عامة يستبدل البولي اثيلين في نهاية كل موسم زراعة وذلك لضمان عدم النضح وعدم التلوث بالاحياء المجهرية (ان وجدت) من محصول الموسم السابق . وغالبا مايستخدم البولي اثيلين ذات اللونين الاسود والابيض فيكون

اللون الاسود نحو الخارج واللون الابيض نحو الداخل حيث تكبس النهايتين على شكل مثلث (شكل ٦ ـ ٦). يكون عرض الساقية في قاعدة المثلث حوالي ٢٥ الى ٣٠ سم لكي تسمح للجذور بالانتشار دون ان تتشابك او تتماسك لدرجة تعيق حركة المحلول المغذى من حولها. وبالرغم من امكانية استخدام سواقي ذات قواعد اضيق من ذلك (١٥ سم) دون ان تؤثر على انتاج الطماطة (Spensley وآخرون، ١٩٧٨) الا انه يعتقد انه كلما كانت الجذور غير متماسكة او متشابكة كلما كانت التهوية جيدة ولكنه لاتوجد دراسات دقيقة حول هذا الموضوع ونحتاج الى دراسات لايضاح العلاقة بين تشابك الجذور والتهوية.



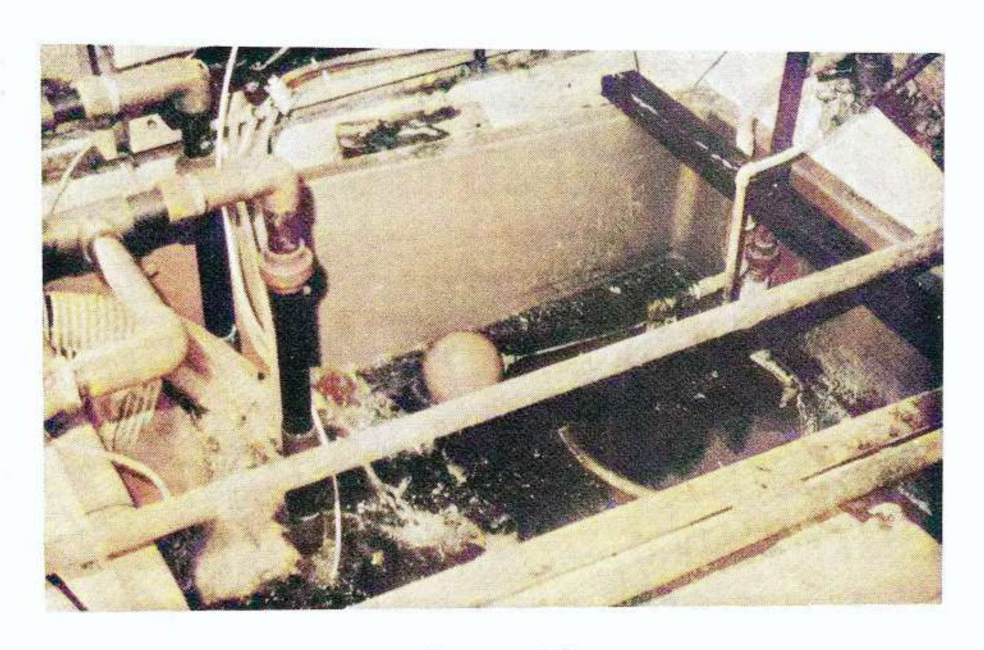
(شكل ٦ ـ ٦)
طريقة عمل السواقي وتثبيت البولي ايثلين بحيث يكون السطح الاسود نحو الاعلى والابيض نحو داخل الساقية (مأخوذ عن Cooper، ١٩٧٩).

يجهز المحلول المغذى الى الساقية بواسطة انابيب من البلاستك الاسود كالمستخدم في تأسيسات الماء ولكن ذات سمك اقل ليسهل التحكم بها . ان معدل حركة المحلول المغذى في السواقي يجب ان يكون حوالي ١ ـ ٢ لتر/ دقيقة (Jenner ، ١٩٨٠) . اما طول الساقية فيجب ان لايزيد على ٢٠ متر لان السواقي ذات طول اكبر من ذلك ربما يكون له تأثير سلبي على حركة المحلول المغذى او نسبة الاوكسجين فيه حيث ان هناك دراسات تشير الى ان نسبة الاوكسجين الذائب في المحلول المغذى تنخفض اثناء مروره في الساقية (بسبب تنفس الجذور) وان هناك فرق كبير في تركيز الاوكسجين الذائب بين بداية ونهاية الساقية وكلما زاد طول الساقية يعني زيادة عدد النباتات وبالتالي استنفاذ الاوكسجين بدرجة كبيرة مما قد يعرض النباتات في نهاية الساقية الى نقص الاوكسجين المستمر (Alwan ، ١٩٨٥) . اما اذا اريد استخدام سواقي اطول من ٢٠ متر فيجب ان تكون مصادر التغذية (مواقع التغذية) متعددة على امتداد طول الساقية .

تستخدم بعض الاوساط عند نقل الشتلات مثل مكعبات الصوف الحجري (rockwool cubes) او مكعبات البتموس (peatmoss cubes) او اي وسط آخر له القابلية على الاحتفاظ بالرطوبة بهدف منع جفاف النباتات وتثبيتها في مراحل نموها الاولى حيث قد يمر المحلول المغذى من حولها دون ان يمسها .

حوض المحلول المغذي وأنابيب التغذية :

بصورة عامة تستخدم الاحواض البلاستيكية لخنظ المحلول المغذى الا ان من الناحية التجارية عندما تكون الزراعة بمساحات واسعة يبنى الحوض من الاسمنت . وتتم عملية السيطرة على مستوى المحلول المغذى في هذا الحوض بواسطة طوافة تربط بأنبوب الماء وكلما انخفض مستوى المحلول المغذى في الحوض نتيجة لاستهلاك الماء من قبل النباتات في النمو او التبخر ينزل الماء لحين عودة مستوى المحلول الى المستوى الاصلي (شكل ٦ ـ ٧) . في المزارع الكبيرة داخل البيوت الزجاجية غالباً مايكون حجم الحوض المستخدم ١٠ ـ ١٥٪ من حجم المحلول المغذى المستعمل في النظام حيث ان ٨٥ ـ ٩٠٪ من المحلول المغذى هو في دوران مستمر في سواقي الزراعة . ففي مزرعة NFT استخدم حوض بحجم ٥٠ م^{٣} فقط (٥٠,٠٠٠ لتر) لتغذية مزرعة طماطة بمساحة هكتار واحد (٤ دونم) . اما موقع الحوض فانه غالبا مايكون اوطأ من مستوى سطح الارض فعندما يتوقف ضخ المحلول المغذى يبدأ المحلول الموجود في السواقي بالانسياب الى انابيب التجميع



(شكل ٦ ـ ٧)

تصميم الحوض الرئيسي للمحلول المغذي يلاحظ تثبيت طوافة مرتبطة بمصدر الماء بهدف المحافظة على مستوى المحلول داخل الحوض وتعويض الماء المفقود بواسطة النتح من النباتات (مأخوذ عن **Cooper** ، ١٩٧٩).

فحوض المحلول المغذى بتأثر الجاذبية وقد يفيض الحوض اذا كان حجمه صغيراً لايسع كمية المحلول المغذى في النظام . وللتغلب على هذه المشكلة في حالة اتباع نظام الضخ المؤقت (اي الضخ بالتتابع) فانه يمكن تنظيم الضخ بصورة متناوبة اي ان يضخ المحلول المغذى في عدد من السواقي ثم يتوقف ليضخ المحلول المغذى في عدد آخر من السواقي وهكذا . كما هو معلوم يجب ضبط درجة حموضة المحلول المغذى (pH) ودرجة التوصيل الكهربائي (EC) له . فاذا كانت عملية ضبط هاتين الصفتين يدويا فيجب قياس الـ pH والـ EC يوميا وتعدل تبعا لذلك . ولتقليل التذبذب في الصفات اعلاه ينصح بأستخدام حوض كبير لان تذبذب هاتين الصفتين له الاثر الفعال على نمو النباتات . اما نهاية انابيب التجميع عند الحوض للمحلول المغذى فيجب ان ينزل منها المحلول المغذى مشابه لما يحدث عند سقوط الماء من الميزاب اثناء هطول الامطار حيث ان هذه الطريقة تساعد على تهوية المحلول ويمكن التخلص من بعض الغازات التي قد توجد فيه .

كما هو معلوم فان المحلول المغذى يمر حول النباتات في السواقي ثم يعود الى حوض التغذية بواسطة انابيب التجميع ثم يضخ ثانية وهكذا لذلك يجب ان تكون الانابيب والحوض والمضخة وبقية المواد المستخدمة في النظام خالية من المواد الكيمياوية التي قد تطرح الى المحلول المغذى بتآكلها بهذا المحلول المائل الى الحامضية (pH = ٥,٥ - ٦,٥) حيث ان قسم من هذه المواد قد يسبب سمية عند تراكمه في المحلول وبالتالي فقدان المحصول (Winsor وآخرون ، ١٩٧٩) .

ففي دراسة اجراها Graves و Adatia (١٩٧٩) وجد انه في حالة استخدام مدافيء ذات قضبان (كويل) مغلفة بالنيكل لتدفئة المحلول المغذي تسبب في ظهور اعراض السمية على نباتات الطماطة بهذا العنصر . وبناء على ماتقدم فأن من الضروري ان تكون جميع الانابيب واحواض الزراعة مضنوعة من البلاستك أوتكون مبطنة بالبلاستك أو اية مادة خاملة غير متفاعلة كيمياوياً مع المحلول المغذي لتجنب حدوث حالات تحرر بعض الايونات للمحلول وتراكمها لدرجة السمية .

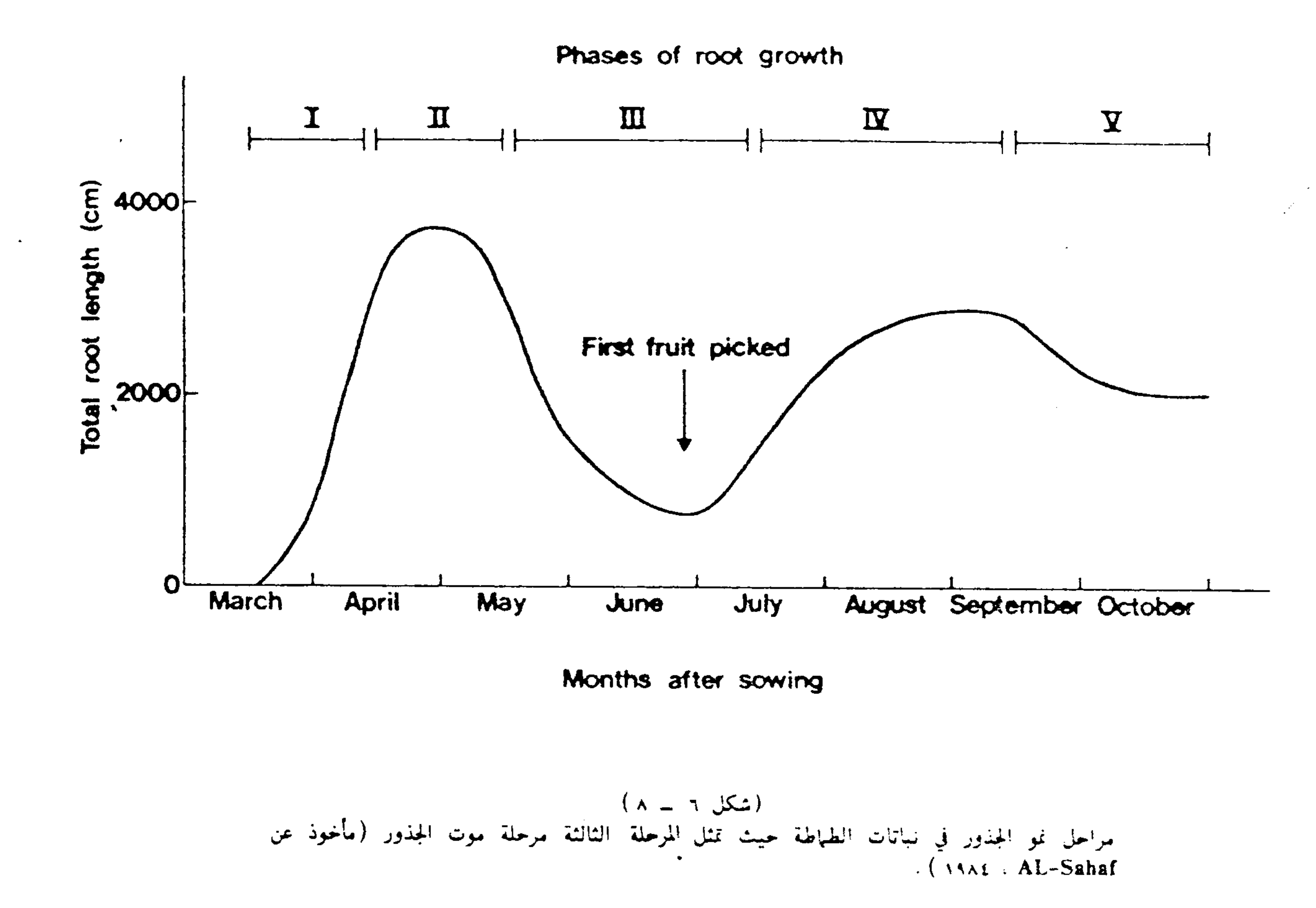
قد تجري عملية ضبط الـ pH والـ EC تلقائياً خصوصاً في حالة المزارع الكبيرة من الـ NFT وذلك بأستخدام اجهزة pH و EC وعندما يحصل اي تغير في اي من الصفتين ينساب حامض قوي أو قاعدة قوية لتعديل الـ pH أو ان ينساب محلول مغذي مركز الى المحلول المغذي لتعديل الانخفاض في الـ EC بسبب امتصاص المعادن من قبل النباتات . ان انخفاض الـ pH الى اقل من ٤ لعدة ساعات لمحلول التغذية يسبب تلف كبيرة للنباتات . لذلك توجد في الوقت الحاضر اجهزة لضبط درجة الحرارة والـ pH والـ EC للمحلول المغذي بصورة تلقائية ودقيقة جداً حيث لاتزيد نسبة الخطأ في الـ pH على اكثر من ± ٠,٢ وفي الـ EC على ٥٠ ميكروموز (١ مليموز = ١٠٠٠ ميكروموز أو مايعادل ١٠ وحدات من الـ (Conductivity factor, CF) .

نمو وفعالية الجذور لنباتات الطماطة في المحاليل المغذية :

لاحظ عدد من الباحثين ان بادرات الطماطة المزروعة حديثاً في الـ NFT تبدأ بتكوين مجموع جذري كبير وخلال فترة زمنية قصيرة بعد الزراعة (Hurd ، ١٩٧٨ و Winsor وآخرون ، ١٩٧٩) . هذا المجموع الجذري يشكل طبقة من الجذورالبيضاء اللون سمك ٢ ـ ٣سم حيث تكون النباتات في هذه المرحلة قد تفتحت فيها اول زهرة على النورة الزهرية الاولى (First Truss) . هذه الطبقة

من الجذور لاتشكل سوى ١٥٪ من وزن المجموع الجذري الكلي . وقد وصف Hurd وآخرون (١٩٧٩) المجموع الجذري في الطماطة بأنه يتكون من ١٥ الى ٢٥ جذر اولي بسمك ٢ ملم وطول ٢ ـ ٣ متر وينشأ من هذه الجذور عدد كبير جداً من الجذور الثانوية ويتراوح سمك الجذر فيها بين ٠,٢ ملم ـ ٠,٥ ملم . وبعد التزهير ينخفض معدل نمو الجذور بصورة تدريجية وقد يتوقف بعد ثمانية أسابيع من التزهير (أي عندما يصبح عمر النبات حوالي ١٢٠ ـ ١٣٠ يوم من الزراعة) حيث في هذه الفترة تموت الجذور الثانوية القديمة ويتحول لونها الى اللون البني وتتقطع عند لمسها باليد في حين يكون لون الجذور الثانوية الحديثة بني فاتح . هذا الانخفاض في معدل نمو الجذور يتزامن مع مرحلة النمو السريع للثمار وحصول زيادة كبيرة في حجمها ووزنها وهي مايطلق عليها بمرحلة انتفاخ المبيض (Ovaryswelling) لذلك فقد اقترح ان موت الجذور في هذه المرحلة ربما يعود الى ضعف قابلية الجذور للتنافس مع الثمار على نواتج التمثيل الضوئي . حيث وجد ان مخزون الجذور من الكربوهيدرات لايكفي سوى للتنفس ولبضعة ساعات فقط لذلك فانها تحتاج الى تجهيز مستمر بالكربوهيدرات من الاوراق بهدف استمرار عملية التنفس ونمو الجذور . ومايؤكد الفرضية اعلاه هو انه عند ازالة جميع الثمار من النباتات تسبب في نمو اعداد كبيرة من الجذور الحديثة وبدأ النبات يستعيد نشاطه . وقد تأكد ذلك من الدراسة التي اجراها Newton, Abdul Rahman في انكلترا عام ١٩٨٤ . وبالرغم من ان التفسير السابق الذي يفترض ان الثمار تعتبر منافس قوي للجذور على نواتج التمثيل الضوئي الا ان نتائج معظم التجارب التي اجريت بهذا الخصوص اوضحت انه حتى لو ازيلت جميع الثمار فان ظاهرة موت الجذور وتوقف نمو النبات لن تختفي مما دفع Tucker (١٩٧٧) الى ان يقترح ان حصول هذه الظاهرة لها علاقة مباشرة بتوازن منظمات النمو في النبات وليس كحالة التنافس المقترحة . والمخطط البياني (شكل ٦ ـ ٨) يوضح مراحل نمو الجذور في الطماطة . بعد موت الجذور يحدث خمول لنمو الجذور يستمر لمدة شهر حيث لاتتكون اية جذور جديدة أو قد تتكون اعداد قليلة جداً من الجذور ثم بعد ذلك يستعيد المجموع الجذري نشاطه بتكوين اعداد كبيرة جداً من الجذور الحديثة والتي تكون فعالة في امتصاص الماء والعناصر المعدنية . ان ظاهرة موت الجذور الثانوية في الطماطة ظاهرة طبيعية (Price ، ١٩٧٨) وان الانسجة الميتة من الجذور قد تهاجم من قبل الاحياء المجهرية فتتحلل ويعتقد ان لتحلل هذه الانسجة صفتين : الاولى انها لاتنتج مواد سامة عند تحللها والثانية انها تمنع حصول انسداد انابيب التغذية والتجميع .

ان نسبة الجذور الميتة اثناء التزهير والاثمار تختلف من نبات لآخر الا ان هناك حالات يكون فيها موت الجذور شديد بحيث تذبل النباتات اثناء النهار في



(شكل ٦ ــ ٨)

مراحل نمو الجذور في نباتات الطماطة حيث تمثل المرحلة الثالثة مرحلة موت الجذور (مأخوذ عن AL-Sahaf ، ١٩٨٤).

الايام المشمسة بسبب اختلال التوازن في تجهيز الماء من قبل الجموع الجذري الضعيف الى الاوراق الناتجة مما ينتج عنه فقدان لبعض الاوراق (Hurd و Price ، ١٩٧٧) . وقد اعتقد بعض الباحثين ان سبب موت الجذور ربما يعود للاصابة ببعض الاحياء المجهرية المرضية لذلك فقد اجريت دراسات اضيفت فيها بعض مبيدات الفطريات لمنع حدوث ظاهرة موت الجذور أو على الاقل منع اصابة الجذور الميتة بالفطريات واوضحت نتائج هذه الدراسات انه بالرغم من عدم حصول الاصابة الفطرية للمجموع الجذري فقد حاول النبات ان يستبقي نسبة ثابتة بين فعالية الجذور وحجم النمو الخضري . وبناء على ذلك فقد اقترح بأن تجري عملية ازالة عدد قليل من الاوراق السفلية عند وصول النباتات السفلية الى مرحلة موت الجذور . قد يتبادر الى الذهن بأن موت الجذور يحصل في الطماطة المزروعة في الـ NFT فقط الا ان الاعتقاد غير صحيح وانما تحصل هذه الظاهرة في النباتات المزروعة في التربة أو بدون تربة على السواء (Van der Post و Van der Meijs ، ١٩٦٨) .

نظام الـ NFT من الناحية الاقتصادية :

تقنية استخدام الـ NFT منتشرة تجارياً في انكلترا ودول اوربية اخرى ومن خلال الاحصائيات يتضح مدى تقدم وانتشار الزراعة بالـ NFT . ففي عام ١٩٧٨ كانت المساحة المزروعة بالـ NFT هي ١٦ هكتار فقط (٦٤ دونم) في حين اتسعت المساحة لتصبح اكثر من الضعف في عام ١٩٨٠ حيث بلغت ٣٤ هكتار وأصبحت المساحة المزروعة بالـ NFT في عام ١٩٨٢ حوالي ٤٦ هكتار . ان معدل اتساع المساحة المزروعة بالـ NFT تجارياً في انكلترا اسرع من بقية الدول الاوربية الاخرى الا ان الزراعة بالـ NFT بصورة تجريبية قد انتشرت بصورة واسعة في عدد كبير من الدول . وقد اجرى Graves (١٩٨١) مقارنة من الناحية الاقتصادية بين نظام الزراعة بالـ NFT وطرق الزراعة الاخرى . ان الاسس التي اعتمدت في هذا التقيم هي كلفة الانشاء وكلفة الادامة مع المردود الاقتصادي للمحصول المنتج . ففي دراسة اجراها Potters و Sims (١٩٨٠) لمقارنة الحاصل الناتج من مزرعة الـ NFT ذات الكلفة الواطئة (اي استخدام انحدار ارض البيت الزجاجي دون انشاء اية مساند للسواقي) أو الـ NFT ذات الكلفة العالية مع مزرعة استخدمت فيها اكياس من البتموس والمسماة (Grow-Bags) حيث استخدمت اكياس سعة ٤٢ لتر وزرع في كل كيس ثلاث نباتات . ان هذه المقارنة هي بين نظامين من الزراعة بدون استخدام تربة . ان استخدام اكياس البتموس تحتاج الى مليء وتهيئة تستغرق فترة اسبوعين مما تضيف الى تكاليف الانتاج مقارنة

بمزرعة الـ NFT كما ان عملية التعقيم للنظام التي تجري في نهاية الموسم في مزرعة البتموس تزيد من كلفة الانتاج حيث ان هذه العملية لاتجري في مزرعة الـ NFT الا عند الحاجة (في حالة اصابة المحصول السابق ببعض الاحياء المجهرية المرضية) .
وقد لوحظ ان انتاجية نباتات الطماطة بالـ NFT تزيد بمقدار ١ ـ ٢ كغم/ م٢ في شهري تشرين الاول وتشرين الثاني التي يكون فيها سعر الطماطة مرتفع نسبياً الجدول (٦ ـ ١) يوضح المقارنة . فاذا كان انتاج الـ NFT الواطيء الكلفة مساوي الى انتاج اكياس البتموس فأن فرق الارباح يكون قليل اما اذا افترضنا زيادة في الانتاج مقدارها ١٠ ٪ في حالة الـ NFT فأن زيادة الارباح هي ٢٠ الف دولار / هكتار مقارنة باكياس البتموس . وعند مقارنة الزراعة بالـ NFT العالي الكلفة مع البتموس عندما يكون الحاصل متساوي فأن الزراعة في اكياس البتموس تعطي فرق في الربح قدره ١٣,٠٠٠ دولار / هكتار الا انه في حالة افتراض وجود ١٠ ٪ زيادة في انتاجية الطماطة بالـ NFT فستكون هناك زيادة في الربح قدرها ١١,٥٠٠ دولار في الهكتار . هذه المقارنة توضح بانه في حالة استخدام الـ NFT عالي الكلفة من الضروري ان تزيد انتاجية الهكتار الواحد بمقدار ٥ ٪ لكي تصبح الطريقة اقتصادية . وقد اكد Potter و Sims (١٩٨٠) ان الطماطة المنتجة بالـ NFT ذات نوعية اجود بمقدار ١٥ ٪ مقارنة بتلك المنتجة في اكياس البتموس . كما ان نظام الـ NFT يمتاز بقلة المشاكل التي لايمكن حسابها مادياً كانغلاق الصمامات والممرات المائية في السواقي في حالة الزراعة في اكياس البتموس . اما Van Os (١٩٨٣) فقد اجرى مقارنة بين كلف الانشاء وكمية الانتاج في عدة طرق للزراعة بدون استخدام تربة في هولندا . لقد انتشرت طرق الزراعة بدون تربة في هولندا بسرعة كبيرة حيث كانت المساحة ٢٥ هكتار في عام ١٩٧٨ في حين اصبحت ٨٠ هكتار في عام ١٩٨٠ و ٥٠٠ هكتار في عام ١٩٨٢ . واهم سبب في زيادة المساحة المزروعة بدون استخدام تربة يعود الى قلة التكاليف خصوصاً تلك الناتجة من تعقيم التربة والتي تكلف ١,٥ دولار / م٢ اضافة الى ارتفاع تكاليف تدفئة التربة اثناء الشتاء حيث وجد انه يمكن تقليل استخدام الوقود بمقدار ٣ ـ ٥ م٣ / م٢ من المساحة المزروعة وذلك لسهولة تدفئة المحلول المغذي . ويفضل في هذا الخصوص الـ NFT على الاوساط الحاملة الاخرى مثل البتموس والصوف الحجري وغيرها . كما انه في حالة الرغبة في مكننة زراعة النباتات فأن استخدام الـ NFT يسهل هذه العملية ويسهل تحميل المحاصيل الاخرى مع المحصول الرئيسي . هذا اضافة الى ان الزراعة بالـ NFT اعطت زيادة في حاصل الطماطة بمقدار ٨ ٪ مقارنة في الزراعة في اوساط اخرى . وفيما يتعلق الامر بالقطر العراقي فقد طبقت طريقة الزراعة بالـ NFT حديثاً حيث زرعت نباتات الطماطة وقورن انتاجها مع مثيلاتها المزروعة في نظام الزراعة التقليدي (التربة) واثبتت التجربة

تفوق الانتاج في نظام الـ NFT عنه في التربة حيث استمرت التجربة لغاية نهاية شهر نيسان دون ظهور اية مشاكل (Alwan وآخرون ، ١٩٨٨) .

(جدول (٦ ــ ١)
مقارنة في انتاج وايرادات الهكتار الواحد من الطماطة المزروعة في البيوت الزجاجية في انكلترا لنظامين من الـ واكياس البتموس لموسم زراعي واحد فقط (مأخوذ من Potter و Sims ، ١٩٨٠) .

طريقة الزراعة	الحاصل المتوقع	فرق الربح (دولار/ هكتار) EFT	اكياس البتموس
١ . واطيء الكلفة مقارنة باكياس البتموس	متماثل	لايوجد	لايوجد
٢ . واطيء الكلفة مقارنة باكياس البتموس	زيادة قدرها ١٠٪ في حاصل الـ	٢٠,٠٠٠	لايوجد
٣ . عالي الكلفة مقارنة باكياس البتموس	متماثل	لايوجد	١٣,٠٠٠
٤ . عالي الكلفة مقارنة باكياس البتموس	زيادة قدرها ١٠٪ في حاصل الـ	١١,٥٠٠	لايوجد

References

1- Abdul Rahman, M.A. and Newton, P., Death of roots of tomato plants grown with the nutrien film technique. ISOSC. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture, Lunteren, The Netherlands. PP 59-70 (1984).

2- Al-Sahaf, F.H., The effect of root confine-ment and calcium stress on the physiology, morphology and cation nutrition in tomatoes (**Lycopersicon essulentum** Mill). Ph. D. Thesis, University of Canterbury, Lincoln college, Newzealand (1984).

3- Alwan, A.H., The influence of root solution environment on fruit production by tomato plant. Ph. D. Thesis, University of Manchester, UK (1985).

4- Alwan, A.H., Alkhafaji, S.K. and Muqsid, H.K., First Iraqi triil, with NFT. (personal communication, 1988).

5- Asher, C.J., Ozanne, P,G., and Loneragen, J.F., A method for controlling the ionic environment of plant root. Soil Science 100: 149 (1965).

6- Asher, C.J., Limiting external concentrations of trace elements for plant growth use of flowing solution culture techniques. Journal of Plant Nutrition 3: 163-180 (1981).

7- Atten, burrow, D.C., and Waller, P.L., Sodium chlorides its effect on nutrient uptake and crop yields with tomatoes in NFT. Acta Horticulturae 98: 229-236 (1979).

8- Clement, C.R., Hopper, M.J., Canaway, R.J., and Jones, L.H.P., A system for mensuring the uptake of ions by plants from flowing solution of controlled composition. Journal of Experimental Botany 25: 81-99 (1974).

9- Cooper, A.J., The ABC of NFT, Growers Books, Ltd, London, UK (1979).

10- Gericke, W.F., The complete guide to soilless gardening. Putnam, London, UK (1940).

11- Graves, C.J., The nutrient film technique. Horticultural Reviews 5: 1-44 (1984).

12- Graves, C.J., and Adatia, M.H., Nickel toxicity in nutrient film culture. Annual Report of Glasshouse Crops Research Institute P. 103-104 (1979).

13- Howeler, R.H., Edwards, D.F., and Asher, C.J., Micronutrient

deficiencies and toxicities of cassava plants grown in nutrient solution 1. Critical tissue concentrations, Journal of Plant Nutrition 5: 1059-1076 (1982).

14- Hurd, R.G., The root and its environment in the nutrient film technique of water culture. Acta Horticulturae 82: 87-97 (1978).

15- Hurd, R.G., and Gay, A.P., Effect of old nutrient solution on growth of tomato seedlings. Annual Report of Glasshouse Crops Research Institute P. 48 (1976).

16- Hurd, R.G., Gay, A.P., and Mountifield, A,C., The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth on the inder-minate tomato. Annals of Applied Biology 93: 77-90 (1979).

17- Hurd, R.G., and Price, D., Root death and mid-crop wilting of tomatoes in nutrient film. Horticulture Industry P. 15, 18 (1977).

18- Jenner, G., Hydroponics-reality or fantasy Scientia Hortsoulture. 31: 19-26 (1980).

19- Johnson, H.Jr., Hysroponics: Aguide to soilless culture systems. Division of Agricultural Sciences, University of California Leaflet No. 2947 (1979).

20- Knop, W., Quantitative unter suchungen uber die ernahrungs processe der PF/anzen. Landw, Verstat 7: 93 (1865).

21- Potter, R.F., and Sims, T., Doing sums on NFT in 1980. Grower 94: 15-16 (1980).

22- Price, D., Root disorders in NFT tackled by regular fungicide does. Grower 89: 409-410 (1978).

23- Sims, T., Tomatoes heated. Nutrient film technique GP 2621. Progress Report. Annual Report of Efford Experimental Horticulture station P. 16-21 (1977).

24- Spensley, K., Winsor, G.W., and Cooper, A.J., Nutrient film technique-crop culture in flowing nutrient solution. Outlook in Agriculture 9: 299-305 (1978).

25- Tucker, D.J., Plant hormones and root development of tomatoes grown in nutrient film. Annual Report of Glasshouse Crops Research Institute P. 148-154 (1977).

26- Van der Post, C.J., and Van der Meijs, M.Q, Relationship between root growth and crop development of some vegetables under

glass. Mededeling van de Directie Twinbouw 31: 447-452 (1968).

27- Van os, E.A., Dutch developments in soil less culture. Outlook in Agriculture (1983).

28- Wilson, G.C.S., A simple method of getting the desired slope in NFT gulleys. Acta Horticulturae 82: 149-152 (1978).

29- Winsor, G.W., Hurd, R.G., and Price, D., Nutrient film technique. Growers Bulletin of Glasshouse Crop Institute England (1979).

الفصل السابع

الزراعة في الرمل Sand Culture

المقدمة :

تعتبر طريقة الزراعة بالرمل من اكثر طرق الزراعة بدون استخدام تربة شيوعا خصوصا في المناطق الصحراوية وفي مناطق شرق البحر الابيض المتوسط وشمال افريقيا والولايات المتحدة الامريكية . ففي ابو ظبي توجد مزرعة بالرمل بمساحة خمسة أيكرات قابلة للتوسع الى ٢١ أيكر (شكل ٧ ــ ١) . وهناك مزارع باستخدام الرمل في منطقة توسان بولاية اريزونا الامريكية تبلغ مساحتها ١١ أيكر (شكل ٧ ــ ٢) وفي كاليفورنيا ٥ أيكرات وفي ولاية تكساس ١٠ ايكرات(Resh ، ١٩٧٨) . هذه المزارع انشأت بأشراف معهد ابحاث البيئة التابع الى جامعة اريزونا . ومن الجدير بالذكر فأن هذا النمط من الزراعة قد استخدم في العراق على نطاق تجريبي وذلك بزراعة محصول الطماطة واثبت نجاحه وكفاءته في انتاج هذا المحصول (Lotfy ، ١٩٨٦) . كما توجد ابحاث جارية في كلية الزراعة/ قسم البستنة/ جامعة بغداد لدراسة تأثير تراكيز المحلول المغذى وعلاقتها بنمو وانتاج الطماطة والخيار في مزرعة رملية .



(شكل ٧ ــ ١)
مزرعة رملية داخل بيوت زجاجية في ابو ظبي (مأخوذ عن Rosh ، ١٩٧٨) .



(شكل ٧ ـ ٢)
مزرعة رملية داخل بيوت زجاجية على مساحة ١١ أيكر في مدينة توسان ولاية اريزونا الامريكية (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).

صفات وسط الزراعة :

بصورة عامة يستخدم الرمل ذات الحبيبات المتوسطة الحجم حيث وجد ان رمال المناطق الصحراوية في شرق البحر المتوسط او رمال شواطيء البحيرات (بعد ان تغسل جيدا لازالة ما علق بها من املاح) من احسن الرمال لانشاء هذا النظام الزراعي . وينصح بعدم استخدام الرمل ذات الحبيبات الناعمة جدا لانها عند الري تنجرف مع المحلول المغذى . ان الحجم المناسب لحبيبات الرمل هو عندما يتراوح قطر الحبيبات بين ٢ ملم الى ٠,٦ ملم حيث ان الحبيبات بهذا القطر تساعد على سهولة البزل ولاتنجرف عند زيادة الري . كما ان تجانس طبقات الرمل في السواقي المبطنة له اهمية كبيرة في نجاح الزراعة في الرمل . وبهدف تحسين نوعية وسط الرمل عندما تكون حبيبات الرمل ناعمة جدا تخلط نسبة معينة من الرمل الخشن ذات الحبيبات الكبيرة نسبيا لتجنب حصول عملية الانجراف وتعرض الجذور الى ظروف التنفس اللاهوائي التي غالبا ماتحصل عندما تكون حبيبات الرمل ناعمة جداً . ويقترح Douglas (١٩٨٥) ان رمل شواطيء بحيرة الحبانية في العراق يعتبر من افضل الرمال التي يمكن استخدامها في حالة انشاء نظام الزراعة في الرمل .

تفاصيل تصميم النظام :

هناك طريقتين رئيسيتين لاستخدام الرمل كوسط زراعي هما استخدام سواقي مبطنة بالبلاستك ومملوءة بالرمل او ان تغطي ارضية البيت الزجاجي بالرمل بعد عزلها بطبقة من البلاستك .

١ . طريقة السواقي المبطنة بالبلاستك :

يمكن صناعة هذه السواقي من الخشب حيث تبطن هذه السواقي بالبلاستك الاسود السميك ويمكن استخدام انواع اخرى من البلاستك السميك كمادة مبطنة . ومن الضروري ان تكون هذه السواقي بالحدار حوالي $\frac{١}{٢٠٠}$ على امتداد طول الساقية حيث ان هذا الانحدار يسهل من عملية البزل عند الحاجة . اما انابيب البزل يجب ان تثبت على طول قاعدة الساقية وهذه الانابيب تكون اصغر من حيث القطر مقارنة بتلك التي استخدمت في حالة الزراعة في الحصى حيث ان كمية مايبزل من المحلول المغذى في حالة الزراعة في الرمل لاتزيد عن ٨ ـــ ١٠ ٪ من حجم المحلول الكلي . تتصل انابيب البزل من احدى نهاياتها بانبوب التجميع حيث يتجمع فيه المحلول المنبزل من السواقي ثم يطرح الى المجاري مباشرة . تعمل

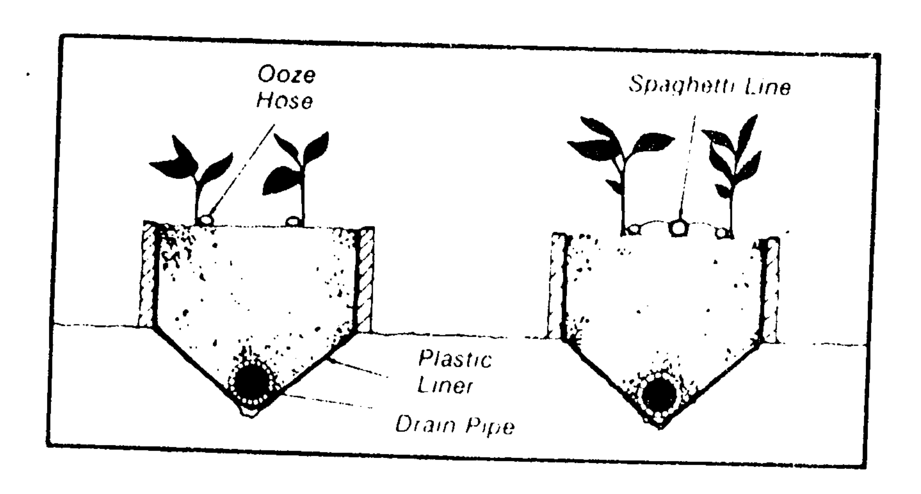
ثقوب في انابيب البزل بمعدل ثقب واحد لكل ٥٠ سم على امتداد طول الانبوب ويكون موقع الثقوب في الجهة المواجهة لقاعدة الساقية اي ان اتجاه الفتحات لحو الاسفل لكي لاتنغلق بواسطة نمو الجذور في داخلها . ومن الضروري تنظيف انابيب البزل بصورة مستمرة . ارضية الساقية اما ان تكون مستوية او ان تأخذ شكل الرقم سبعة بحيث يمر انبوب البزل من الوسط كما في (شكل ٧ ـ ٣) .

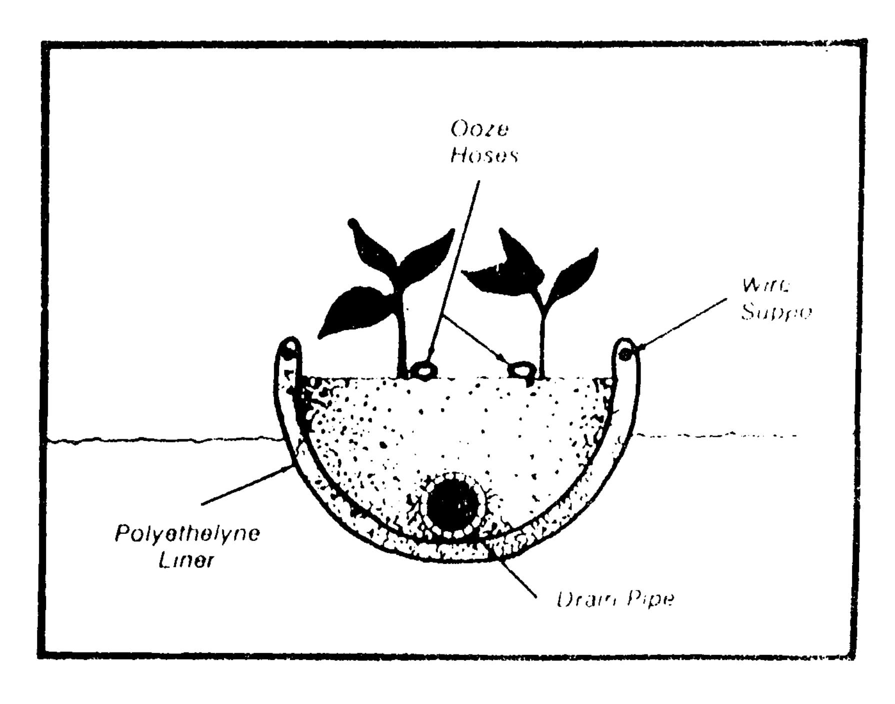
٢ ـ طريقة تغطية ارض البيت الزجاجي بالرمل :

بصورة عامة تكون تكاليف انشاء المزرعة بهذه الطريقة أقل مقارنة بطريقة السواقي حيث ان ارضية البيت الزجاجي تغطي بالبلاستيك الاسود السميك (شكل ٧ ـ ٤ أ) ثم تغطى بطبقة من الرمل بسمك يتراوح بين ٣٠ سم الى ٤٠ سم كما ان مستوى سطح الرمل يجب ان يكون بانحدار $\frac{١}{٢٠٠}$ (أي انخفاض مقداره ١ سم لكل مترين من طول ارضية البيت آلزجاجي) وهذا الانحدار ضروري لتأمين البزل المناسب للمحلول المغذي الفائض عن الحاجة (شكل ٧ ـ ٤ ب) قبل وضع الرمل في البيت الزجاجي يجب ان تسوى ارضيته حسب الانحدار المطلوب كما ان قطع البلاستيك يجب ان لا تتداخل فيما بينها اثناء تغطية ارضية البيت عندما تستخدم عدة قطع من البلاستك اعتماداً على مساحة البيت الزجاجي . توضع انابيب البزل على البلاستك مباشرة حيث تستخدم انابيب بقطر ٣ ـ ٥ سم وبين انبوب وآخر ١,٥ ـ ٢ متر اعتماداً على نوعية وحجم حبيبات الرمل حيث كلما كانت حبيبات الرمل ناعمة كلما كانت المسافة بين انبوب وآخر متقاربة . ان موضع انابيب البزل كما في حالة الزراعة في السواقي يكون موازياً لانحدار الارض حيث يتجمع المحلول المغذي المنبزل في الجهة المنخفضة من ارضية البيت الزجاجي في انبوب التجميع الذي يرتبط عرضياً بكافة انابيب البزل الفرعية . هذا المحلول المغذي المنبزل اما ان يستخدم في تسميد نباتات مزروعة في حقل مكشوف أو ان يبزل الى المجاري . ويجب ان تكون طبقة الرمل ضمن مدى السمك المذكور آنفاً لانه اذا كان سمك طبقة الرمل أقل من ٣٠ سم يتعرض الى سرعة الجفاف كما ان الجذور قد تنمو في داخل انابيب البزل مما يسبب انسدادها وعرقلة بزل المحلول فيها (شكل ٧ ـ ٥) .

عملية الري في نظام الزراعة بالرمل : .

بصورة عامة يستخدم في نظام الزراعة بالرمل اسلوب الري بالتنقيط وهذا مايطلق عليه Drip or Trickle irrigation . كما ان المحلول المبزول والذي لا يزيد حجمه عن ٨ الى ١٠ ٪ من حجم المحلول المضاف عند كل رية لا تتم اعادة



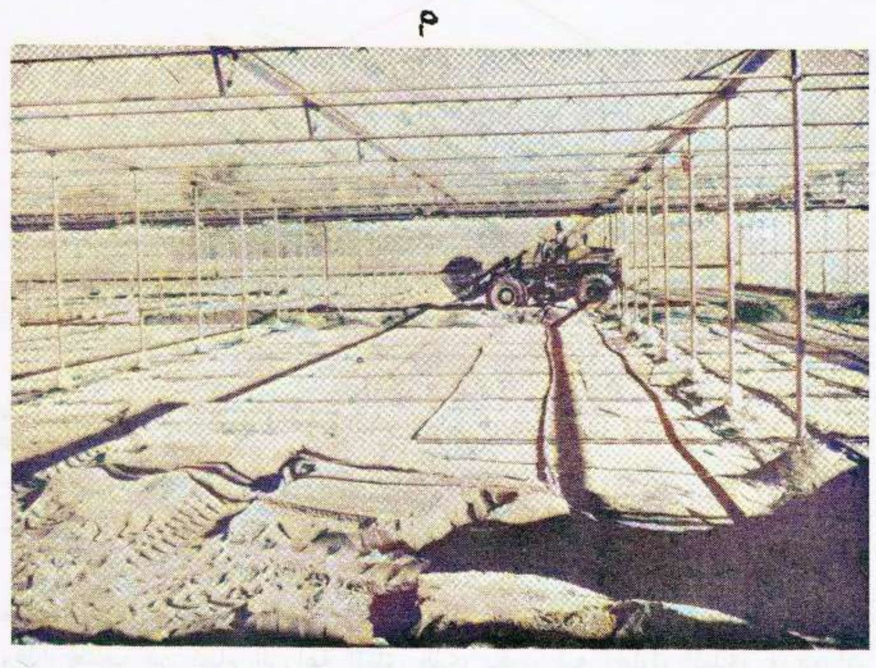


(شكل ٧ ـ ٣)

مخطط يوضح شكل قعر ساقية الزراعة في الرمل حيث قد تكون على شكل رقم سبعة (اعلى) أو اشبه مستوية (اسفل) (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).



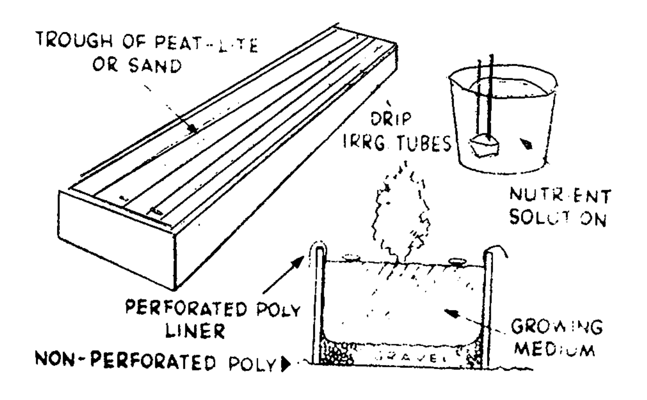
م

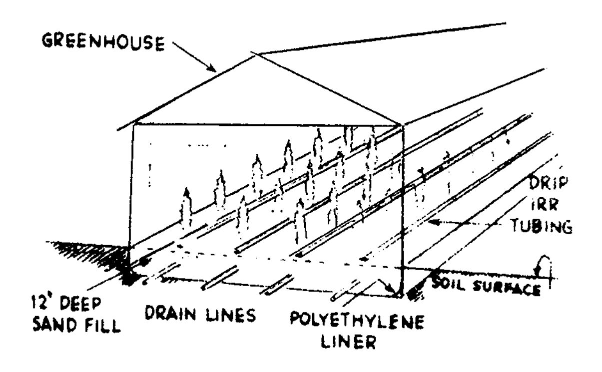


ب

(شكل ٧ ـ ٤)

تهيئة ارض البيت الزجاجي وتغطيتها بالبلاستك وتوزيع انابيب البزل (أ) ثم وضع طبقة الرمل بسمك ٣٠ ـ ٤٠ سم (ب) (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).





(شكل ٧ ـ ٥)

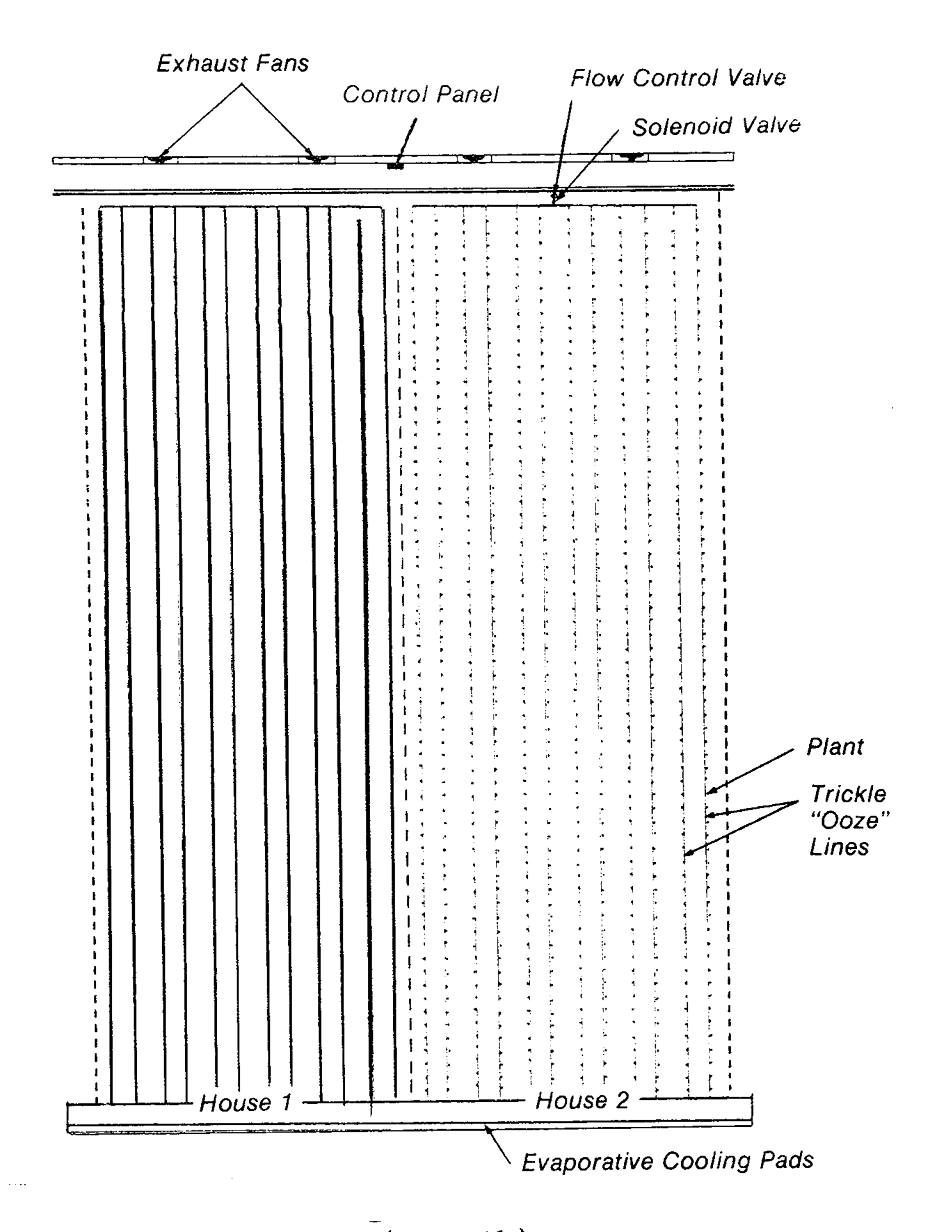
مخطط يوضح سمك طبقة الرمل في ارضية البيت الزجاجي في مزرعة رملية كما يوضح كيفية توزيع انابيب البزل (مأخوذ عن Johnson ، ١٩٧٨).

ضخه الى الوسط وهذا مايطلق عليه بنظام الزراعة المفتوح (Open System) وهذا يختلف عن نظام الزراعة المغلق الذي يكون فيه المحلول المغذي في دوران مستمر (NFT) أو تجرى دورات ري متعاقبة كما في حالة الزراعة في الحصى). تتم عملية الري بالتنقيط من انابيب ضيقة متصلة بانابيب التغذية الرئيسية الممتدة

على طول ساقية الزراعة ويستخدم لذلك انابيب ضيقة جداً (ذات قطر مشابه لتلك التي تغلف اسلاك الكهرباء) وقد تنتهي هذه الانابيب بصمامات بهدف السيطرة على معدل سرعة التنقيط . اذا كان سطح وسط الزراعة (سطح الرمل)مستوى دون وجود أي انحدار فيه فإن طول انبوب التغذية لايزيد على ١٥ م اما اذا كان سطح الوسط منحدر بمقدار $\frac{١}{٢٠٠}$ فيمكن استخدام انبوب تغذية اطول من ذلك قد يصل الى ٣٠ ــ ٣٥ م ومن اهم مزايا الري بالتنقيط هي توفير كميات متساوية وملائمة لكل نبات من المحلول المغذي .

تفاصيل نظام الري بالتنقيط :

يمكن تقسيم البيت الزجاجي الى اجزاء متساوية وكل جزء يمكن ان يروي على انفراد بواسطة صنبور أو صمام يسيطر على حركة ومعدل مرور المحلول المغذي . من الضروري ان تكون قابلية الانابيب المستخدمة على توزيع ٣٦ الى ٤٨ لتر/ دقيقة في مساحة ٤٥٠ م^{٢} من وسط الزراعة . وان الفترة الزمنية بين رية وآخرى تعتمد على عدة عوامل منها الظروف الجوية ونوع النبات ومرحلة النمو والوقت من النهار وقد يثبت مرطاب Tensiometer في وسط الزراعة لتقدير رطوبة الوسط وتحديد مواعيد وكميات الري بحيث لا يبزل اكثر من ٨ ــ ١٠٪ من كمية المحلول المغذي المضافة . ويتم حساب ذلك من خلال معرفة كميات المحلول المغذي المضافة من انبوب التغذية وكمية المحلول المنبزلة في انبوب التجميع . ربما ان كمية المحلول المغذي المضافة تعتمد على نوع النبات ومرحلة نموه فإن من الممكن السيطرة على كميات المحلول المغذي المتدفقة لكل نبات وذلك من خلال صمامات خاصة مثبتة في بداية كل انبوب مغذي (شكل ٧ ــ ٦) . قطر الانابيب الرئيسية للتغذية تعتمد على المساحة المراد اروائها في كل دورة ري وبصورة عامة يتراوح قطر هذه الانابيب المصنوعة من البولي فنيل كلورايد (PVC) بين ٣ ــ ٥ سم . اما قطر الانابيب الفرعية فيجب ان لا يزيد عن ٢ ــ ٣ سم لارواء قطعة ارض مساحتها ٤٥٠ سم . تتصل هذه الانابيب الفرعية بالانابيب الرئيسية بواسطة تقسيم ذات ثلاث اتجاهات (T) لكي يتوزع المحلول المغذي بصورة متساوية الى كافة الانابيب الفرعية . ويتفرع من الانابيب الفرعية انابيب فرعية ثانوية ذات قطر اقل من ٢ سم تمتد بجانب خطوط الزراعة في الوسط ومن هذه الانابيب تخرج الانابيب الضيقة جداً (الرضاعات) التي تغذى كل نبات بالمحلول المغذي المطلوب . أن ضغط المحلول المغذي في هذه الانابيب الضيقة قد يصل الى ٨٠ ــ ١٠٠ باوند/ انج^{٢} . قد تستخدم صمامات لها القابلية على تزويد النباتات بمقدار ٢,٥ الى ١٥



(شكل ٧ ـ ٦)

مخطط لمزرعة رملية منفذة في بيتين زجاجيين على مساحة ٥٠٠٠ قدم ٢ حيث تروى بواسطة التنقيط وتتم السيطرة على كمية الماء (المحلول المغذي) في كل عملية ري بواسطة صمامات خاصة موزعة على انبوب الري الرئيسي (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).

لتر/ ساعة اعتماداً على ضغط المحلول المغذي في الانابيب الفرعية وان افضل معدل لتدفق المحلول المغذي لجذور النباتات هو الا يزيد عن ٥ الى ٧ لتر/ ساعة . اما في حالة استخدام الانابيب الضيقة جداً ذات قطر أقل من ١ ملم فتكون من الناحية الاقتصادية أقل كلفة لكنها تحتاج الى عناية اكثر وقد تستبدل بعد انتهاء موسم نمو المحصول حيث تتراكم الاملاح فتسبب انسدادها . جميع الانابيب سواء الرئيسية أو الفرعية أو الانابيب الضيقة جداً يجب ان تكون سوداء اللون لمنع نمو الطحالب داخل منظومة الانابيب التي تسبب انسدادها أو عرقلة حركة المحلول فيها . بما ان الانابيب قد تتعرض الى الانسداد بسبب وجود بعض الشوائب في الماء أو المحلول المغذي فإنه من الضروري تثبيت مصفيات (فلترات) في صمامات انابيب تجهيز الماء الى النظام وفي انابيب تجهيز الاسمدة كمحلول مغذي للنباتات لتلافي انسداد الانابيب الرئيسية الفرعية . وعندما يكون ري النظام مصمم على اساس القيام بالري بشكل تلقائي (اوتوماتيكي) فهناك مضخات تضخ كميات مناسبة من المحلول المغذي الاساس (Stock Solution) الى الانابيب الرئيسية الذي يمتزج بالماء فيتخفف الى التركيز المطلوب . وقد يضخ المحلول المغذي من حوض كبير انشيء لغرض مزج المحلول المغذي الاساسي وتخفيفه الى التركيز المطلوب وان اكثر المزارعين يفضلون طريقة انشاء حوض رئيسي كبير للمحلول المغذي حيث ان ذلك يتيح لهم معرفة التركيب المعدني للمحلول المغذي بصورة دقيقة كما ان اخطار عطل احد مضخات المحلول المغذي الاساسي في الطريقة الاولى قد تسبب تدهور نمو النباتات وفشلها في الانتاج وموتها في حين في حالة انشاء حوض كبير لا تحصل مثل هذه المشكلة .

اذا كان تجهيز المحلول المغذي للنباتات يتم بواسطة مضخات تضخ المحلول المغذي الاساسي اذن من الواجب ان يكون هناك خزانين للمحلول المغذي الاساسي احدهما يحتوي على مزيج من نترات الكالسيوم والحديد المخلوب أو كبريتات الحديد في حين يحتوي الخزان الثاني على كبريتات المغنيسيوم وفوسفات البوتاسيوم الاحادية ونترات البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم وكافة العناصر المعدنية الصغرى .

ولمصدر الرمل تأثير كبير على كمية بعض العناصر المعدنية فمثلا عندما يكون مصدر الرمل المستخدم كوسط للزراعة من اراضي كلسية فإن كمية الحديد المخلوب المستخدم يجب ان تكون اكبر مقارنة بتلك المستخدمة في رمل من تربة غير كلسية . كما يمكن اضافة الاسمدة الكيمياوية بصورة جافة الى الرمل وعند الري بالماء تذوب هذه الاسمدة وتصبح جاهزة للنباتات . وقد استخدمت هذه الطريقة في ولاية اوهايو الامريكية والمملكة المتحدة (Douglas ، ١٩٨٥) . وقد تستخدم اسمدة بطيئة التحلل (Slow Release Fertilizers) مثل Osmocote و

Stamifert حيث تنثر مثل هذه الاسمدة بين النباتات وعند ذوبانها بماء الري تتحرك بشكل محلول سمادي نحو الجذور فتستفاد منها النباتات .

ري النباتات :

ان فترات السقي تعتمد على نوع المحصول ومرحلة النمو ودرجة حرارة البيت الزجاجي ونسبة الرطوبة والوقت من النهار وغيرها من الظروف البيئية الاخرى . ان عملية ري النباتات بالمحلول المغذي بصورة مستمرة قد ترفع من تركيز الاملاح الذائبة في المحلول حول النباتات لذلك يجب اجراء فحص دوري لتركيز الاملاح الذائبة في المحلول حول النباتات (محلول البزل) لمعرفة مستوى تلك الاملاح وبمعدل مرتين في الاسبوع وعندما يصل تركيز الاملاح الى اكثر من ٢٠٠٠ جزء بالمليون يجب غسل الوسط وذلك بالري بالماء العادي فقط خصوصاً عندما تكون الاملاح المتراكمة هي املاح الصوديوم .

اما اذا كانت الاملاح المتراكمة هي ليست املاح الصوديوم وانما املاح العناصر المعدنية الذائبة في المحلول المغذى في هذه الحالة يمكن ان تروى النباتات بالماء فقط ولعدة ايام وبذلك فان تلك النباتات ستستهلك الاملاح المتراكمة في الوسط فينخفض بذلك تركيزها . وفي المناطق التي يكون فيها الماء ذات pH مرتفع نسبيا يفضل اجراء فحص يومي لدرجة حموضة المحلول المغذى pH وتعديلها لتلائم نمو النباتات (الـ pH الملائم حوالى ٦ ــ ٧) .

عملية تعقيم وسط الزراعة بعد انتهاء موسم الزراعة :

بصورة عامة تقضي عملية التبخير على جميع المسببات الفطرية والبكتيرية والديدان الثعبانية لكنها لاتؤثر على مسببات الامراض الفيروسية خصوصاً فيروسات موزائيك التبغ (TMV) او فيروسات موزائيك الخيار (CMV) . ويمكن استخدام بعض المواد الكيمياوية منها الفابام (Vapam) الذي يضاف بواسطة منظومة الري او بروميد المثيل (Methyl Bromide) الذي يحقن في قنوات البزل . ولاجراء عملية التبخير سواء بالفابام او ببروميد المثيل من الضروري تغطية السواقي او ارضية البيت الزجاجي قبل اجراء هذه العملية . وبعد مرور ٤٨ ساعة يزال الغطاء البلاستيكي ويغسل الوسط الزراعي (الرمل) بالماء حيث تم ازالة ماتبقى من مواد التعقيم والاملاح المتراكمة من المحصول السابق . اما اذا اريد التخلص من المسببات الفيروسية المرضية من الضروري اجراء عملية التعقيم بالبخار ويمكن اجراء هذه العملية بواسطة المرجل اذا كانت تدفئة البيت

الزجاجي تتم باستخدام مراجل وربما تستخدم مراجل خاصة لهذه العملية . ويمكن اجراء عملية التعقيم بالبخار بواسطة انابيب البزل المستخدمة في منظومة الانابيب اذا كانت مقاومة للحرارة العالية او قد تستخدم انابيب خاصة تدفن في وسط الزراعة لاجراء هذه العملية حيث تغطى ارضية البيت الزجاجي اثناء اجراء هذه العملية كما ذكر سابقاً . وعندما يراد تعقيم ارضية البيت الزجاجي فيمكن اجراء عملية التعقيم على شكل مقاطع بحيث يعقم كل مقطع على انفراد .

كيفية ادارة المزرعة الرملية في البيوت الزجاجية في المناطق الجافة :

لعل من افضل الامثلة في هذا المجال هي المزارع الرملية في ابو ظبي في الخليج العربي . ففي عام ١٩٧٢ قامت جامعة اريزونا وبدعم من الحكومة في ابو ظبي بانشاء مجمع زراعي يستخدم فيه ماء البحر في ري محاصيل الخضروات بعد اجراء عملية ازالة الاملاح منه وهذا المجمع عبارة عن بيوت زجاجية مسيطر على ظروفها (Controlled conditions) . ان معدل سقوط الامطار في ابو ظبي لايتجاوز ٥ سم في السنة كما ان شدة الرياح الحارة والجافة تسبب صعوبة كبيرة في انشاء مزارع خضروات في الحقول المكشوفة . ان انشاء مثل هذا المجمع يتيح الفرصة لانتاج الخضروات بدرجة جيدة خصوصا وانه لاتوجد مشكلة في كمية وشدة الاضاءة . انشيء هذا المجمع على مساحة ٥ إيكرات حيث اشتمل على بيت بلاستيكي مرتبط ببيوت بلاستيكية جانبية حيث يزرع في هذه البيوت الخس والفلفل والباذنجان والطماطة والخيار والفاصولياء والشلغم والفجل . يتم تبريد البيوت الزجاجية صيفا بواسطة صفائح تبلل بصورة مستمرة كما في حالة مبردات الهواء المنزلية ولكن بحجم اكبر حيث ان تبخر الماء يسبب خفض درجة الحرارة داخل البيت الزجاجي او البلاستيكي . يستخدم ماء البحر لهذا الغرض الذي ينساب من انبوب ذو فتحات مثبت في اعلى الصفائح ويوجد في مركز هذه الصفائح مفرغات هواء حيث تقوم بسحب الهواء من خلال هذه الصفائح الى داخل البيت الزجاجي فيبرد البيت ويخرج الهواء من الفتحات الموجودة في السقف .

الوسط المستخدم هو الرمل الذي يحتوي على كاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) حيث ان الـ pH يساوي ٨,٣ . تضاف الاسمدة على فترات منتظمة الى الماء المقطر او الماء المزالة منه الاملاح وتوزع على النباتات بواسطة الري بالتنقيط . كما واستخدمت سواقي للزراعة مشابهة لتلك التي استخدمت في طريقة الزراعة في السواقي المبطنة بالبلاستك . وقد ذكر Fontes (١٩٧٣) ان انتاجية

البيوت الزجاجية المنشأة على مساحة هكتارين في ابو ظبي تصل الى ١١ طن / يوم من مختلف الخضروات (جدول (٧ ـ ١).

(جدول ٧ ـ ١)

انتاجية مجمع البيوت الزجاجية في المزرعة الرملية من الخضروات خلال عام ١٩٧٢ (مأخوذ عن Fontes ، ١٩٧٣).

نوع الخضروات	الانتاجية (طن / هكتار / يوم)
اللهانة	١,٤
الخيار	٢,٨
الباذنجان	١,٣
الخس	١,٥
الباميا	٠,٤
الطماطة	١,٢
الشلغم	٢,٤

References

1- Douglas, J.S., Advanced guide to hydroponics. New edition, Pelham books, London, UK (1985).

2- Fontes, M.R., Controlled environment horticulture in the arabian desert at Abu Dhabi. Hort Scince 8: 13-16 (1973).

3- Johnson, H. Jr., Hydroponics: A quide to soilless culture systems. Division of Agricultural Sciences, University of California leaflet No. 2947 (1979).

4- Lotfy, E., Effect of different nitrogen from and calcium levels in nutrient solution on growth and yield of tomato plants (**Lycopersicon esculentum** Nill). M.Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Baghdad, Iraq (1986).

5- Resh, H.W., Hydroponic food production. Woodbridge Press Publishing Company Santa Barbara, California, USA (1978).

الفصل الثامن

نظام الزراعة في الحصى Gravel Culture

المقدمــة :

ان اختيار وسط صلب لغرض الزراعة يمكن ان يتم بأستخدام عدة مواد الا ان من الامور الواجب مراعاتها عند اختيار الوسط الصلب هي ان يكون وسط خامل خالي من الشوائب العالقة به والقابلة للذوبان خصوصاً المواد الكلسية التي عند ذوبانها تسبب رفع الدالة الحامضية للمحلول المغذي مما يؤثر على جاهزية العناصر المعدنية للنباتات كما يجب ان تكون هذه المادة تسمح بالبزل السريع اضافة الى انه يجب ان يتصف بالقابلية العالية على الاحتفاظ بالرطوبة وهذه الصفة الاخيرة لها تأثير كبير على تقريب أو تباعد فترات الري .

يستخدم في هذا النظام من الزراعة الحصى باحجام معينة كي تكون مسند ميكانيكي للنباتات اضافة الى انها توفر التهوية للجذور . وقد ذكر Kiplinger وLaurie (١٩٤٩) انه في حالة الزراعة في وسط من الحصى يلاحظ ان الجذور تتركز بعيداً عن سطح الوسط وقد اعزى ذلك الى زيادة التهوية وقلة الرطوبة في الطبقات العليا من الوسط وفي ذلك خطورة حيث ان انهار الجذور في اعماق الوسط وعدم البزل بصورة كاملة ينتج عنه اختناق الجذور وهذا له تأثيراته السلبية المعروفة على نمو النبات مقارنة باستخدام وسط ذو حبيبات ناعمة (مثل الرمل) حيث ان المجموع الجذري ينتشر خلال جميع طبقات الوسط وبالتالي فان عدم البزل الكامل سيكون تأثيره على النباتات اقل بكثير مقارنة بوسط الحصى .

صفات الوسط :

بصورة عامة يستخدم حجر الكرانيت المجروش حيث يتراوح قطر الحبيبات بين ٠,١٦ الى ١,٨٨ سم وان الحبيبات ذات الاقطار الاصغر أو الاكبر من ذلك يجب ان تزال . كما ان الحبيبات ذات قطر ١,٢٥ سم يجب ان تشكل نصف حجم الوسط على الاقل . اما المواد العالقة بالحصى مثل حبيبات الرمل أو الطين فيجب ازالتها بعملية الغسل بالماء ولعدة مرات قبل الزراعة . ان من النقاط الواجب مراعاتها هي ان حبيبات الحصى يجب الا تحتوي على مواد كلسية لان مثل هذه المواد تؤثر على pH المحلول المغذي . وفي حالة عدم توفر حصى خالي من المواد العالقة أو الداخلة في تركيبه عند ذلك يجب تقليل كميات الكالسيوم والمغنيسيوم المضافة للمحلول المغذي حيث ان قسماً من الكلس يذوب في المحلول المغذي ويرفع تركيز هذين العنصرين . ففي حالة استخدام صخور اللايمستون (limestone) فان كاربونات الكالسيوم المتحررة من هذه الصخور تتحد مع الفوسفات الذائبة في المحلول المغذي فتكون فوسفات الكالسيوم الثنائية والثلاثية الغير ذائبة . ان عملية ترسب فوسفات الكالسيوم تبقى مستمرة الى ان تصبح جميع اسطح حبيبات اللايمستون مغطاة تماماً بهذه المادة الفوسفاتية الغير ذائبة (اي تتغلف جميع الحبيبات بفوسفات الكالسيوم) عند ذلك يقل معدل ترسيب الفوسفات وبذلك يثبت تدريجياً تركيز الفوسفات في المحلول المغذي . يعامل الحصى الذي يحتوي على الكالسيوم العالق به والذي يستخدم لاول مرة بمحلول يحتوي على السوبر فوسفات الثلاثي بتركيز ٠,٠٥ — ٠,٥ ٪ وذلك بغمر الحصى في هذا المحلول لعدة ساعات . ونتيجة لهذه المعاملة سترتفع درجة حموضة التربة (pH) كلما انخفض تركيز الفوسفات في المحلول حيث تترسب الفوسفات باتحادها مع الكالسيوم . فاذا اصبح تركيز الفسفور اقل من ١٠٠ جزء في المليون خلال فترة ساعة أو ساعتين من الغمر يصبح من الواجب استبدال المحلول الفوسفاتي بمحلول جديد وهذه العملية يجب ان تتكرر الى ان يثبت تركيز الفوسفات بحدود ٣٠ جزء في المليون ولعدة ساعات وعندما تحصل حالة الثبوتية هذه لتركيز الفوسفات في المحلول المغذي تعني ان جميع الكاربونات الموجودة على اسطح الحصى قد تغلفت بالفوسفات واصبحت غير قابلة للتفاعل مع المحلول المغذي وبذلك يبقى pH المحلول ثابت على درجة حموضة حوالي ٦,٨ دون تغير . بعد ان تتم هذه العملية يبزل المحلول الفوسفاتي ثم يغمر الحصى بالماء لعدة مرات وبذلك يصبح الوسط جاهز للزراعة .

توجد ابحاث عديدة حول تأثير الكلس (lime) والذي يكون باحدى هذه الصور (CaO أو $Ca(OH)_2$ أو $CaCO_3$) العالق على اسطح حبيبات الحصى

المستخدمة كوسط للزراعة على ثبوتية درجة حموضة المحلول المغذي . فقد لاحظ Vaadia, Schwarz (١٩٦٩) ان غسل أو معاملة هذه الصخور بالماء أو المحلول الفوسفاتي لاتمنع من تفاعلها مع المحلول المغذي ورفع درجة حموضته مما تسبب ظهور اعراض الاصفرار على اوراق النبات نتيجة لانخفاض جاهزية الحديد للنبات تحت ظروف الـ pH المرتفع (محيط قاعدي) . كما وجد Victor (١٩٧٣) ان الاضافة اليومية للفوسفات والحديد بمعدل ٥٠ مل من حامض الفسفوريك (H_3PO_4) المركز و١٢ غرام من الحديد المخلوب (Fe EDTA) لكل ٤٥٠٠ لتر من المحلول المغذي تمنع حدوث الاصفرار في نباتات الطماطة .

طريقة الري :

في اغلب حالات الزراعة في الحصى يضخ المحلول من اسفل حوض الزراعة وهذا مااطلق عليه بالري تحت السطحي (Subirrigation) .

يضخ المحلول في حوض الزراعة حتى يصل الى المستوى الملائم ثم يبزل ثانية الى الحوض الرئيسي للمحلول المغذي ويستخدم لهذا الغرض مضخات خاصة . ان اي نظام من الزراعة يستخدم فيه المحلول المغذي لعدة مرات حيث يكون في دوران مستمر في نظام الزراعة (recycling) ولفترة زمنية تتراوح بين ٢ الى ٦ اسابيع أو اكثر يطلق عليه بالنظام المغلق (Closed System) وبعد مرور فترة زمنية معينة يستبدل بمحلول جديد . ان الفترة بين عملية ري واخرى تعتمد على عوامل عديدة في كل عملية ري يجب ان توفر للنبات كافة العناصر المعدنية التي يحتاجها كما يجب ان توفر التهوية والماء له . وفيما يلي اهم العوامل التي تؤثر على الفترة بين رية واخرى في هذا النظام من الزراعة :

١ ـ حجم حبيبات الحصى ونوعية اسطحها :

في حالة استخدام حبات حصى كبيرة الحجم منتظمة الشكل وذات سطح املس تحتاج الى ريات اكثر مقارنة بالحبات الصغيرة الحجم الغير منتظمة الشكل وذات اسطح خشنة حيث ان الاخيرة تمتلك مساحة سطحية كبيرة (بسبب تعرج السطح) .

٢ ـ نوع المحصول وطبيعة نموه :

لنوع المحصول تأثير كبير على فترات الرى فنباتات الطماطة أو الخيار مثلا تمتلك مساحة ورقية كبيرة وبذلك يكون معدل سرعة النتح فيها مرتفع اضافة الى

ان حاصلها من الثمار غزير قد يصل الى خمس كيلوغرامات أو اكثر للنبات الواحد والتي يصل تركيز الماء في انسجتها الى حوالي ٩٥٪ عندما تقارن هذه النباتات بنباتات صغيرة الحجم مثل الخس التي يكون وزنها ومساحتها الورقية صغيرين خصوصاً الاوراق الناتجة وبذلك فان عدد الريات وكميات ماء الري في حالة الطماطة والخيار تكون اكبر مقارنة بالخس

٣ ـ الظروف البيئية :

تؤثر الظروف البيئية على الفترة الزمنية بين رية واخرى حيث يجب ان تقلص هذه الفترة في الايام الحارة ذات الرطوبة المنخفضة أو عندما يكون الري في منتصف النهار عندما تكون شدة الضوء ودرجة الحرارة على اشدها مقارنة بالايام الغائمة أو الممطرة وذات حرارة منخفضة . وبصورة عامة يكون عدد الريات باليوم لمعظم المحاصيل المزروعة في الحصى بين ٣ ـ ٤ ريات في ايام الشتاء الباردة وتكون اثناء النهار اما في ايام الصيف الحارة فيكون الري بمعدل مرة واحدة لكل ساعة اثناء النهار اما في الليل فلا توجد هناك ضرورة للري لان معدل النتح وامتصاص العناصر المعدنية يكون منخفض عندما يكون النظام داخل البيت زجاجي أو بلاستيكي اما في حالة الزراعة في الحقل المكشوف فمن الضروري ري النباتات مرة واحدة على الاقل اثناء الليل في ايام الصيف الحارة لكي لاتتعرض الجذور الى الجفاف . ان عدد الريات له تاثير كبير على نمو النباتات لا لانه يوفر الماء والعناصر المعدنية للنمو وانما يمنع حدوث حالة زيادة تركيز الاملاح على اسطح الحصى نتيجة لامتصاص الماء بواسطة النباتات أو المتبخره من الوسط مباشرة والذي قد يسبب اضطرابات فسيولوجية للجذور مما ينعكس سلبياً على الانتاج والنوعية .

سرعة الضخ والبزل للمحلول المغذي :

كما هو معروف ان جذور النباتات تحتاج الى الاوكسجين في التنفس وتحرير الطاقة اللازمة لامتصاص الايونات (الامتصاص النشط فقط) . فعندما تغمر الجذور بالمحلول المغذي سيخرج كل الهواء الموجود بين حبيبات الحصى وبالتالي تتعرض النباتات الى ظروف الغدق وقلة التهوية لذلك فان فترة ري النباتات من بداية ضخ المحلول لحين البزل الى حوض المحلول المغذي ثانية يجب الا تزيد عن ٢٠ دقيقة حيث انه عندما يبزل المحلول سيدخل الهواء الى الفراغات البينية الموجودة بين حبيبات الحصى ويبقى الفلم الخفيف من المحلول العالق على اسطح حبيبات الحصى يمكن للنبات ان يستفيد منه لاغراض الامتصاص . كما انه من

الضروري افراغ كل المحلول المغذي من وسط الزراعة لان بقاء قسم من هذا المحلول في قاع حوض الزراعة يسبب اختناق الجذور المغمورة فيه وبالتالي يؤثر على نمو النبات .

اما مستوى المحلول المغذي في احواض الزراعة فيجب الا يصل الى مستوى السطح وانما يكون بمستوى تحت السطح بمقدار ٣سم على الاقل وذلك لمنع نمو الطحالب الخضراء كما انه يمنع نمو الجذور السطحية والتي تتعرض الى حرارة مرتفعة خصوصاً في المناطق الحارة مثل ظروف شبه الجزيرة العربية وبالتالي موتها .

في حالة الرغبة في تدفئة المحلول المغذي اثناء الليل خلال اشهر الشتاء يمكن استخدام اجهزة تسخين المحلول (Heaters) المصنوعة من الحديد الغير قابل للصدأ حيث يجب عدم استخدام اجهزة تسخين يدخل في تصنيع ملفاتها الخاصة بالتسخين مركبات الزنك أو الرصاص والتي قد تتفاعل مع المحلول المغذي وتتحرر هذه المعادن الى المحلول وتصبح جاهزة للامتصاص من قبل النبات مما قد تسبب ظهور اعراض السمية .

الزراعة في وسط من الحصى باستخدام الري تحت السطحي :

عند انشاء هذا النظام من الزراعة من الضروري التأكد من ان جميع المواد المستخدمة في مواد البناء والاجهزة وانابيب التغذية والبزل لا تتآكل بتفاعلها مع المحلول المغذي الذي يميل بصورة عامة الى الحامضية لذلك لا يحبذ استخدام المواد المغلونة أو التي يدخل في تركيبها بعض المعادن مثل الزنك والنحاس والقصدير والالمنيوم ويستعاض عنها بمواد خاملة كالبلاستيك . اما مايخص احواض الزراعة فيمكن انشاؤها من الخشب على ان تبطن البلاستيك السميك . كما يمكن انشاؤها من الكونكريت الا ان كلفة هذه الاحواض تكون عالية مقارنة بالاحواض الخشبية .

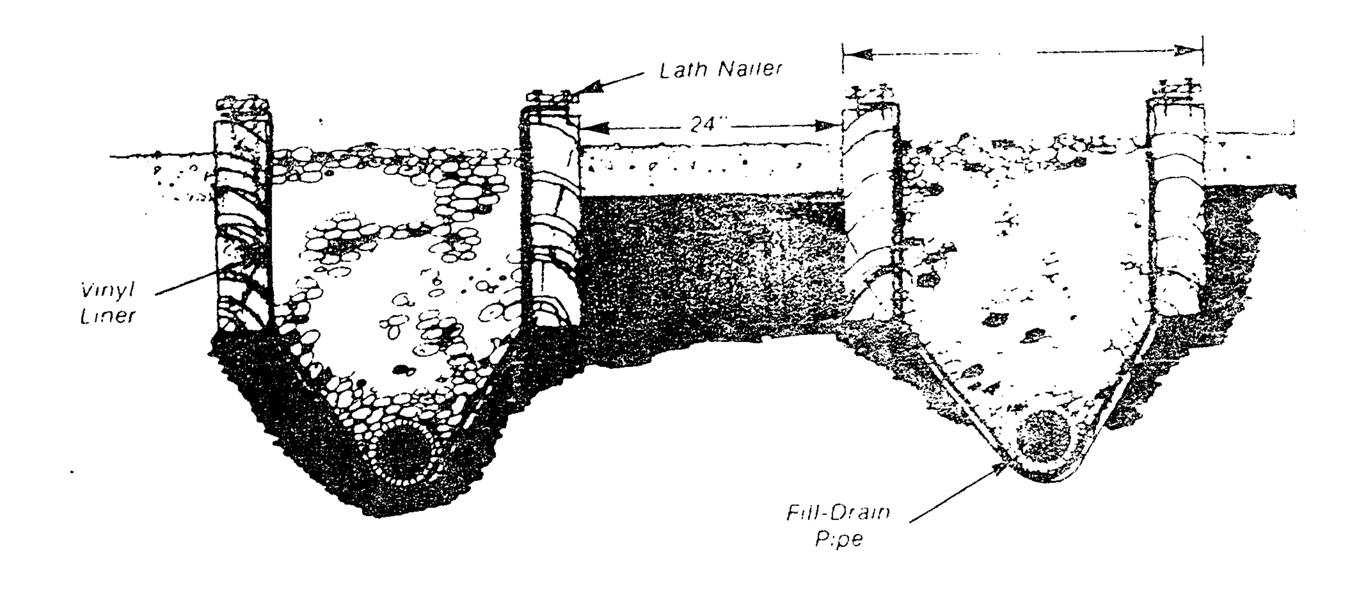
١ ــ تصميم احواض الزراعة :

من اهم النقاط الواجب مراعاتها عند انشاء احواض الزراعة هي ان تكون في وضع يسهل فيه تغذيتها وبزلها دون ان يتبقى اي فلم من المحلول المغذي في قاعها . عملية تغذية وبزل المحلول المغذي الى احواض الزراعة تتم باستخدام انابيب من البلاستك الصلب (Polyvinyl Chloride PVC) ذات قطر ٧,٥سم يمر من قاع حوض الزراعة المصمم بشكل رقم ٧ كما في (الشكل ٨ ــ ١) . حيث يكون عرض الحوض حوالي ٦٠ الى ٧٠سم وعمقه حوالي ٣٠ الى ٤٠سم وطوله حوالي ٣٦

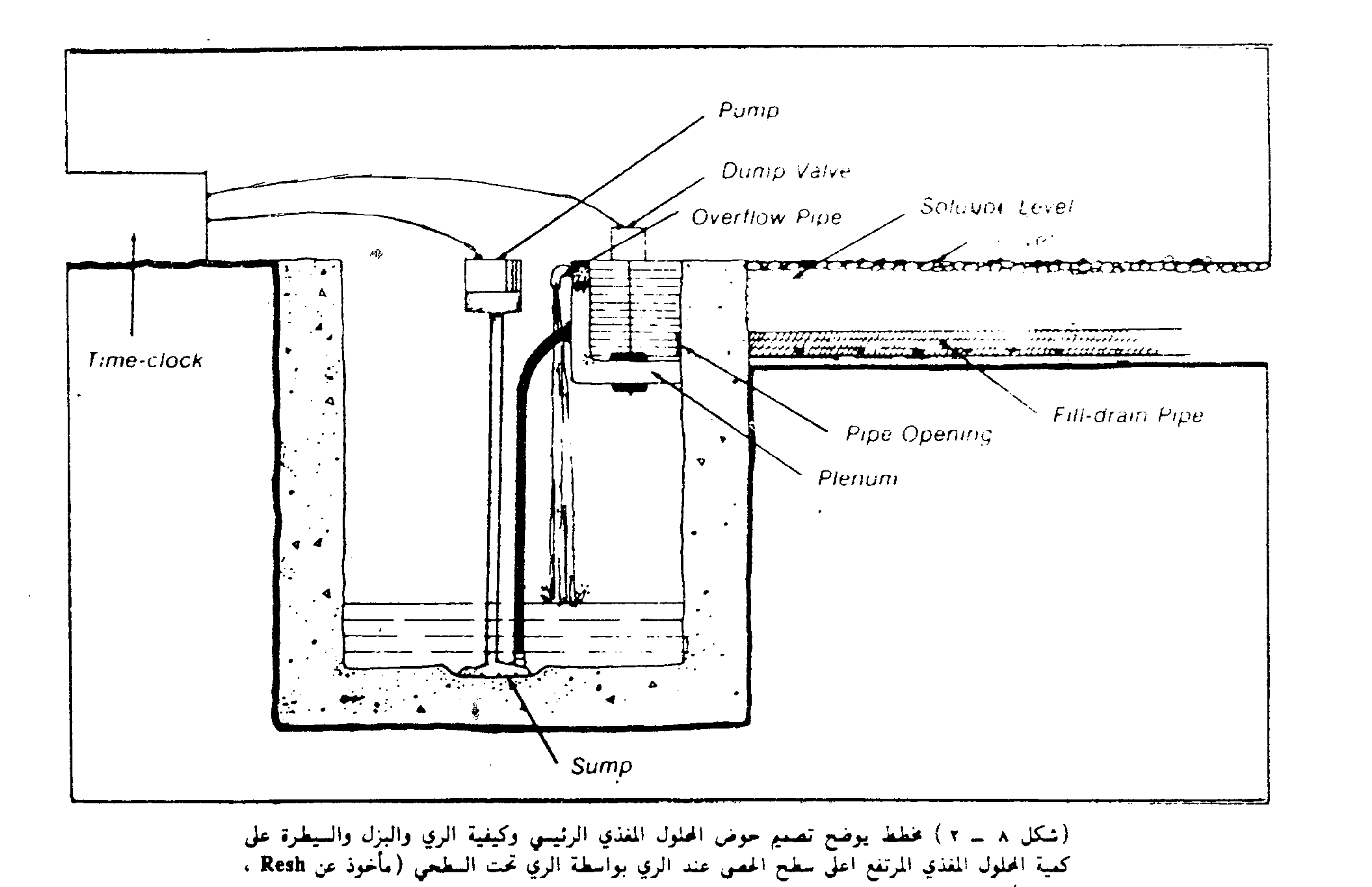
الى ٤٠ م ويجب ان تكون هذه الاحواض بانحدار حوالي ٥ سم لكل ٣٠ م . تتم التغذية والبزل من خلال ثقوب قطر الواحد منها ٠,٧٥ ــ ١,٥ سم موزعة على طول الانبوب البلاستيكي الممتد في قاع حوض الزراعة . الطرقات بين احواض الزراعة يمكن ان تبلط بالاسمنت . وبعد ان يكتمل بناء الاحواض تبطن بالبلاستيك السميك أو اية مادة اخرى تحمل صفات عدم التفاعل مع المحلول المغذي وبعد اجراء عملية تبطين حوض الزراعة يثبت انبوب التغذية والبزل بحيث تكون ثقوب التغذية والبزل مقابلة لقاعدة الحوض وذلك لمنع الجذور من النمو في داخلها وعرقلة حركة المحلول المغذي اثناء عمليات الري والبزل . تملأ الاحواض بعد ذلك بالحصى ويترك حوالي ٣ سم من السطح (شكل ٨ ــ ١) . في كل عملية ري (تغذية) يملأ حوض الزراعة بالمحلول المغذي حتى يصل الى مستوى ٣ سم تحت مستوى السطح ويمكن السيطرة وتحديدالمستوى المطلوب من خلال عمل فتحات في احواض الزراعة قرب السطح العلوي حيث عندما يرتفع مستوى المحلول المغذي عن المستوى المطلوب يبزل المحلول الزائد ويعود في انابيب خاصة تتصل بالحوض الرئيسي للمحلول المغذي (شكل ٨ ــ ٢) .

لضخ المحلول المغذي من حوض التغذية الى احواض الزراعة تستخدم مضخات خاصة ويفضل ان تكون من النوع الغاطس حيث يمكن ان تعمل هذه المضخات اما على اساس الفترة الزمنية أي تربط المضخة الى جهاز موقت (Timer) وتشتغل المضخة لفترة زمنية محددة ثم تتوقف اوتوماتيكياً . اما الطريقة الاخرى هي ان المضخات تعمل على اساس نسبة الرطوبة المتبقية في وسط الزراعة وذلك بعمل توصيل بين اجهزة أو مجسات (Tensiometer) مغموسة في حوض الزراعة ومرتبطة بدورة الكهرباء للمضخة وعند وصول الرطوبة الى حد معين في حوض الزراعة تبدأ المضخة بالعمل لفترة زمنية محددة ثم تتوقف (شكل ٨ ــ ٢) .

اما عملية الري فتتم بعدة مراحل حيث تبدأ المرحلة الاولى عندما تنخفض نسبة الرطوبة في حوض الزراعة تبدأ المضخة بالعمل حيث تضخ المحلول المغذي الى أحواض الزراعة وفي نفس الوقت ينغلق صمام التفريغ حتى يصل مستوى المحلول المغذي في حوض الزراعة الى المستوى المطلوب يبدأ قسم من المحلول المغذي الزائد عن الحاجة يخرج من الفتحات الجانبية المثبتة في الحافة العليا لهذه الاحواض ويعود الى الحوض الرئيسي للمحلول المغذي مما ينتج عنه فصل الدورة الكهربائية للمضخة وتوقفها وتبدأ المرحلة التالية حيث يفتح صمام التفريغ ويتم تفريغ (بزل) المحلول المغذي الى الحوض بفعل الجاذبية الارضية وتستغرق هذه العملية ابتداء من التغذية حتى البزل الكامل للمحلول المغذي حوالي ٢٠ دقيقة .

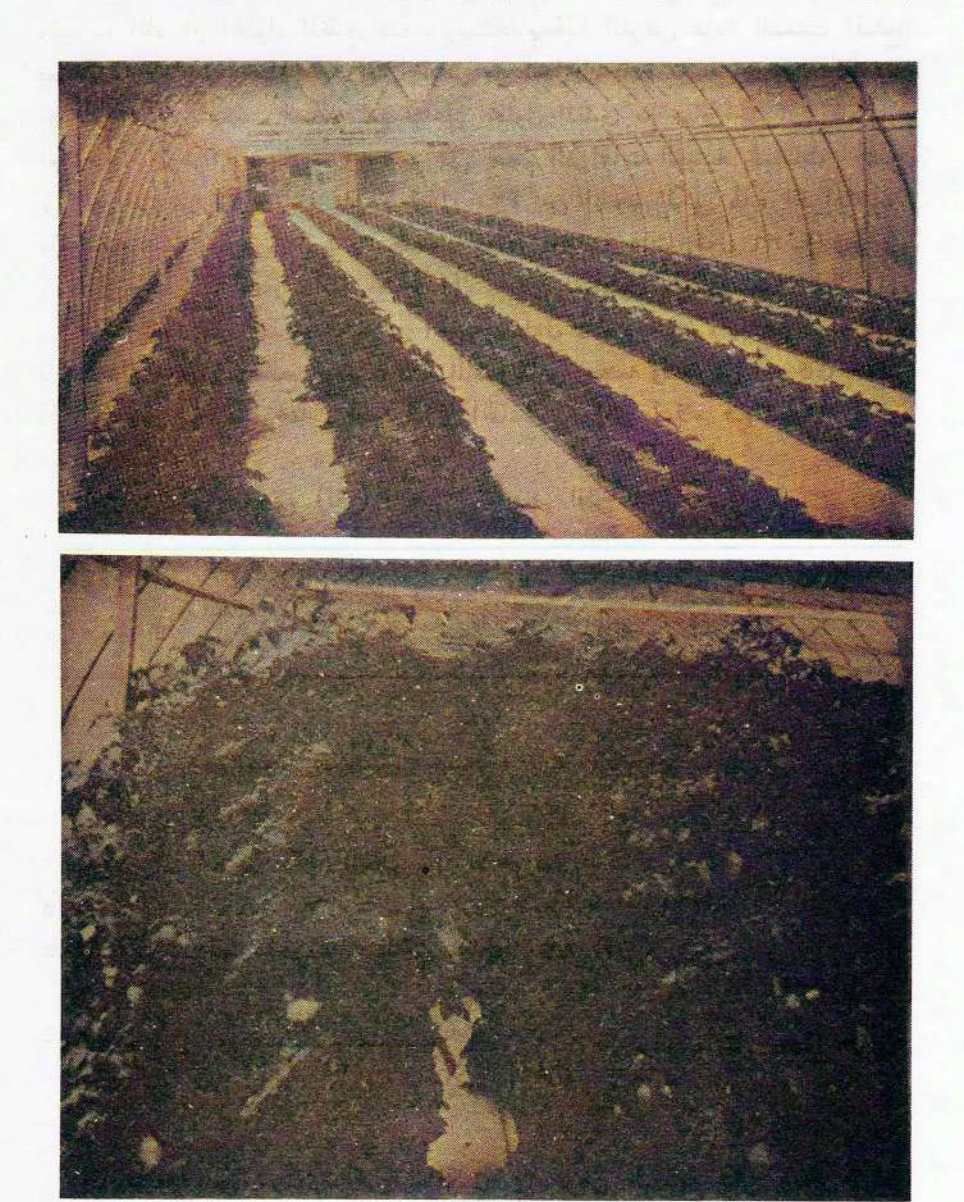


(شكل ٨ ــ ١) تصميم حوض الزراعة في الحصى حيث يلاحظ ارتفاع وعرض الساقية والمسافة بين السواقي وكيفية تثبيت انابيب البزل (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).



(شكل ٨ ـ ٢) مخطط يوضح تصميم حوض المحلول المغذي الرئيسي وكيفية الري والبزل والسيطرة على كمية المحلول المغذي المرتفع اعلى سطح الحصى عند الري بواسطة الري تحت السطحي (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).

الشكلان (٨ ـ ٣أ ، ب) موضحان بيتين زجاجين مزروع احدهما بالخيار والآخر بالطماطة باستخدام الري تحت السطحي في مزرعة من الحصى .



(شكل ٨ ـ ٣)

بيتين زجاجين احدهما مزروع بالخيار (أ) والثاني بالطماطة (ب) في مزرعة حصى (مأخوذ عن **Resh** ، ١٩٧٨) .

٢ ـ تصميم حوض التغذية :

يجب ان تكون مواد بناء الحوض من النوع الصلب التي تمنع انكسار جدرانه وتسرب الماء او المحلول المغذي منه . ويستخدم لهذا الغرض عادة السمنت المسلح بسمك ١٠سم حيث تطلى جدران الحوض من الداخل بمادة مانعة او عازلة كالصبغ او طبقة من الاسفلت السائل لمنع تفاعل المحلول المغذي مع هذه الجدران وتآكلها . اما حجم حوض التغذية فأنه يعتمد على حجم الفراغات البينية لحبيبات الحصى في احواض الزراعة مضافاً اليه حوالي ٣٠٪ من الحجم الكلي لهذه الفراغات. ولتوضيح ذلك نفترض ان لدينا خمسة احواض زراعة ذات طول ٣٦متر وعرض ٠,٦ متر وعمق ٠,٣ متر فاننا نحتاج الى حوض للمحلول المغذي يسع الى حوالي ١٠ آلاف لتر . فلو اخذنا حجم من الحصى يعادل ٠,٥م × ٠,٥ × ٠,٥م وملأناه بالماء حتى مستوى السطح ثم يفرغ هذا الماء ويقاس حجمه ولنفترض انه كان ٣٠لتر اذن مجموع حجم الفراغات البينية في الخمسة احواض اعلاه هي :

الحجم الكلي للحصى (لتر)	حجم الفراغات (لتر)
١٢٥	٣٠
٣٢٤٠٠	س

$$\text{س} = \frac{٣٠ \times ٣٢٤٠٠}{١٢٥} = ٧٧٧٦ \text{لتر}$$

حيث ان الحجم الكلي للحصى في الاحواض =
٥ × ٣٦٠٠ × ٦٠ × ٣٠ = ٣٢,٤٠٠٠٠٠سم^3 = ٣٢٤٠٠لتر
بما انه يضاف لحجم الفراغات الكلي مقدار ٣٠٪ اذن :

$$٧٧٧٦ + \frac{٧٧٧٦ \times ٣٠}{١٠٠} = ١٠١٨٠$$ لتر وهو مايمثل حجم حوض المحلول المغذي

وللمحافظة على مستوى المحلول المغذي في حوض التغذية يمكن ربط طوافة بمصدر الماء (حنفية) تثبت في حوض المحلول المغذي وعند انخفاض مستوى المحلول بسبب التبخر والنتح يتدفق الماء ليعيد المحلول المغذي الى مستواه الاصلي .

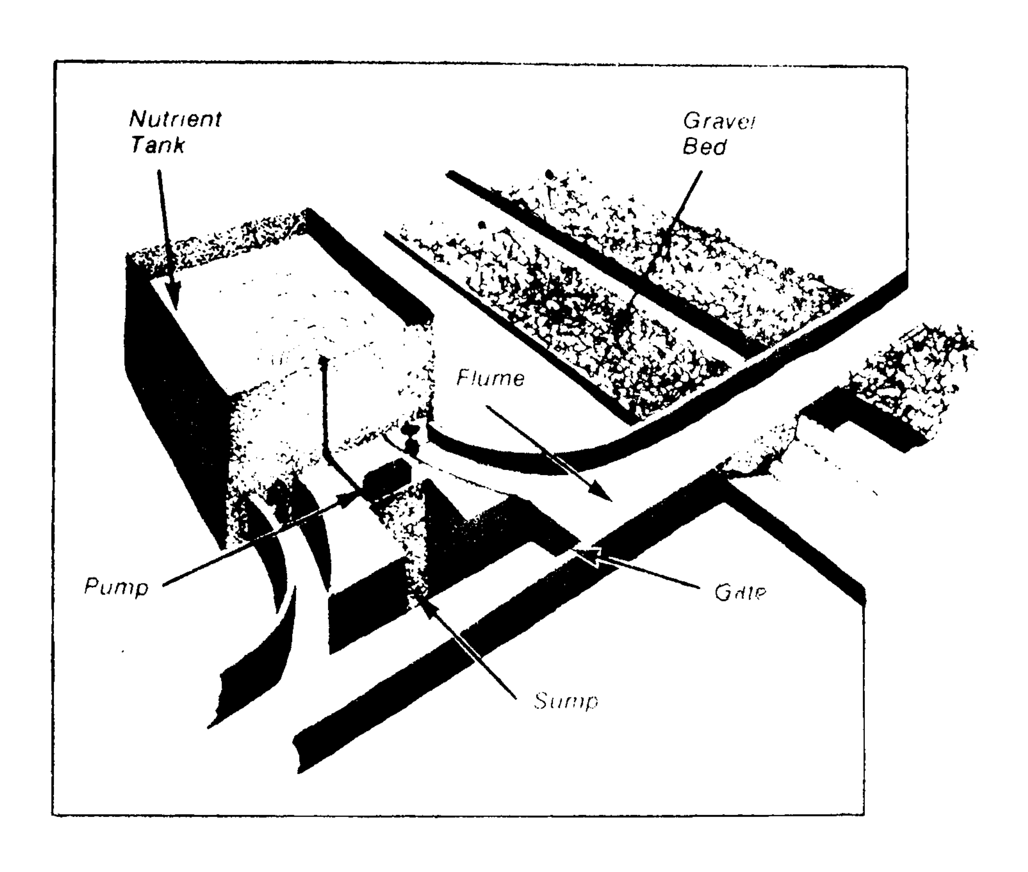
يجب ان تكون أرضية الحوض منحدرة اما باتجاه مركزه او احدى زواياه حيث يثبت في تلك النقطة المنخفضة أنبوب التغذية المتصل بالمضخة كما في (الشكل ٨ ـ ٢) . اما اذا اريد تصغير حجم حوض المحلول المغذي فيمكن تحقيقه باتباع التغذية المتناوبة بين احواض الزراعة . فمثلاً لو كان لدينا ١٠ احواض من الزراعة ولنفترض اننا نحتاج الى ٦ ريات يومياً فيمكننا ان نقسم التغذية بحيث في كل دوره تغذية تغذى الخمسة احواض الاولى وبعد ان يكتمل ري وبزل هذه الاحواض تدور المضخة ثانية لتغذي الخمسة احواض الاخرى (أي ان مضخة التغذية تشتغل ١٢ دورة بدلا من ٦ دورات) وبهذه الطريقة يمكن اختزال حجم الحوض الى نصف حجمه الاصلي .

مزرعة الحصى في الحقل المكشوف :

هناك عدة طرق يمكن فيها انشاء مزرعة في الحصى في الحقل المكشوف الا ان الشائع منها اثنين فقط هما :

أولا : مزرعة حصى تروى بواسطة ساقية :

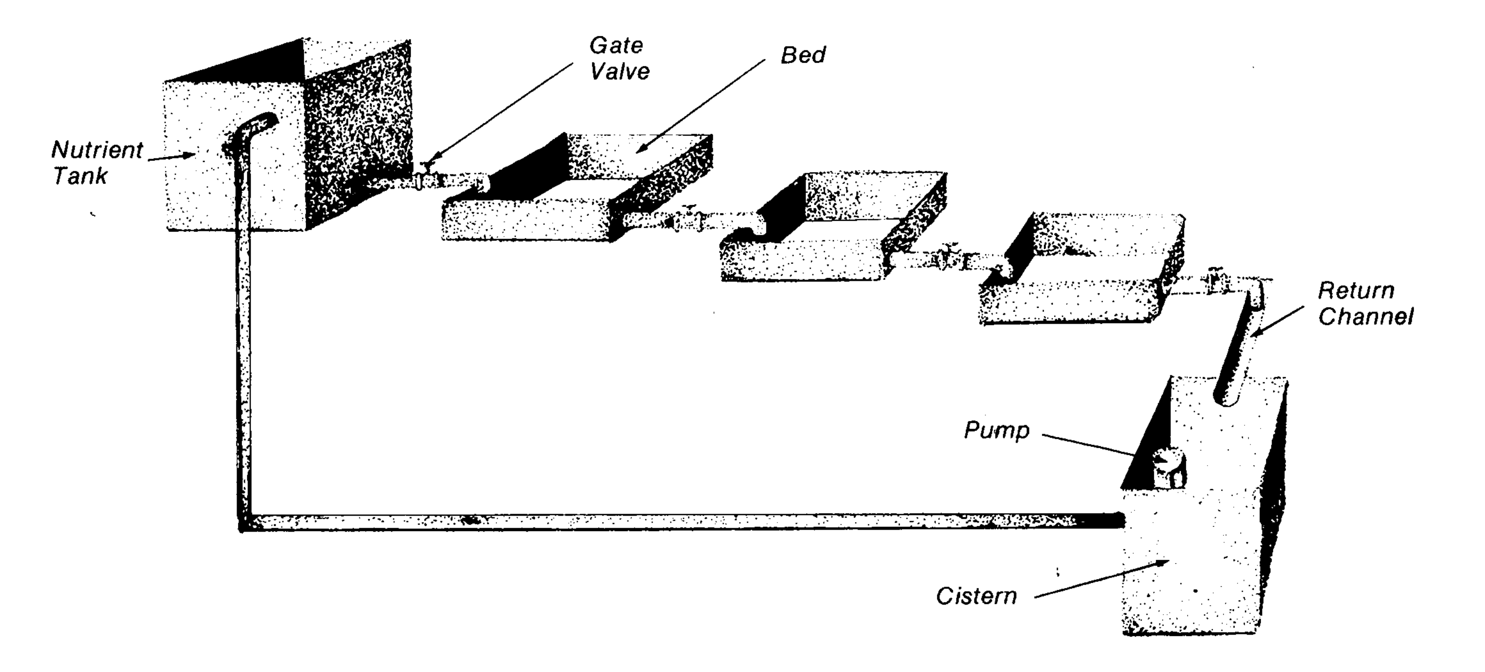
في هذا النظام تستخدم ساقية بعمق ٢٥ ـ ٣٠سم وعرض ٤٥ ـ ٥٠سم بحيث يكون موقع هذه الساقية بصورة عمودية (رأسية) على اتجاه احواض الزراعة (شكل ٨ ـ ٤) تكون احواض الزراعة منحدرة باتجاه هذه الساقية لتسهل عملية البزل . اما موقع حوض المحلول المغذي فيكون تحت سطح التربة وبذلك يضخ المحلول المغذي بواسطة مضخة الى هذه الساقية (ساقية التغذية) فتمتليء احواض الزراعة ثم تبزل بفعل الجاذبية الارضية الى هذه الساقية لتعود الى حوض المحلول المغذي . او قد يكون موقع الحوض فوق سطح التربة وبذلك يجب ان يكون هناك حوض صغير يعمل كمجمع للمحلول المغذي اثناء البزل ومن هذا الحوض تعمل مضخة على رفع الماء الى حوض المحلول المغذي الرئيسي وذلك بعد اجراء عملية الري التي تتم بفعل الجاذبية الارضية .



(شكل ٨ ـ ٤)
مزرعة حصى في المكشوف توضح تصميم حوض المحلول المغذي وموقعه بالنسبة لسواقي الزراعة التي تروى بطريقة الري تحت السطحي (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).

ثانياً : مزرعة حصى في الحقل المكشوف على هيئة مدرجات :

احواض الزراعة في هذا النظام تكون مرتبة الواحدة فوق الاخرى بشكل مدرجات بحيث يكون فيها قاعدة الحوض العلوي بمستوى قمة الحوض الذي يليه وهكذا (شكل ٨ ـ ٥). يكون حوض المحلول المغذي مرتفعاً عن الارض بحيث يكون اعلى من مستوى سطح اعلى حوض زراعة في هذا النظام. تتم التغذية بواسطة صمام متصل بحوض المحلول المغذي يفتح تلقائياً او يدوياً عند الحاجة الى الري (التغذية). كما يوجد على الانابيب التي تربط احواض الزراعة صمامات بهدف تنظيم معدل جريان المحلول المغذي وبعد ان يصل المحلول المغذي الى أوطأ حوض زراعة ينبزل بعدها الى حوض خصص لتجميع هذا المحلول



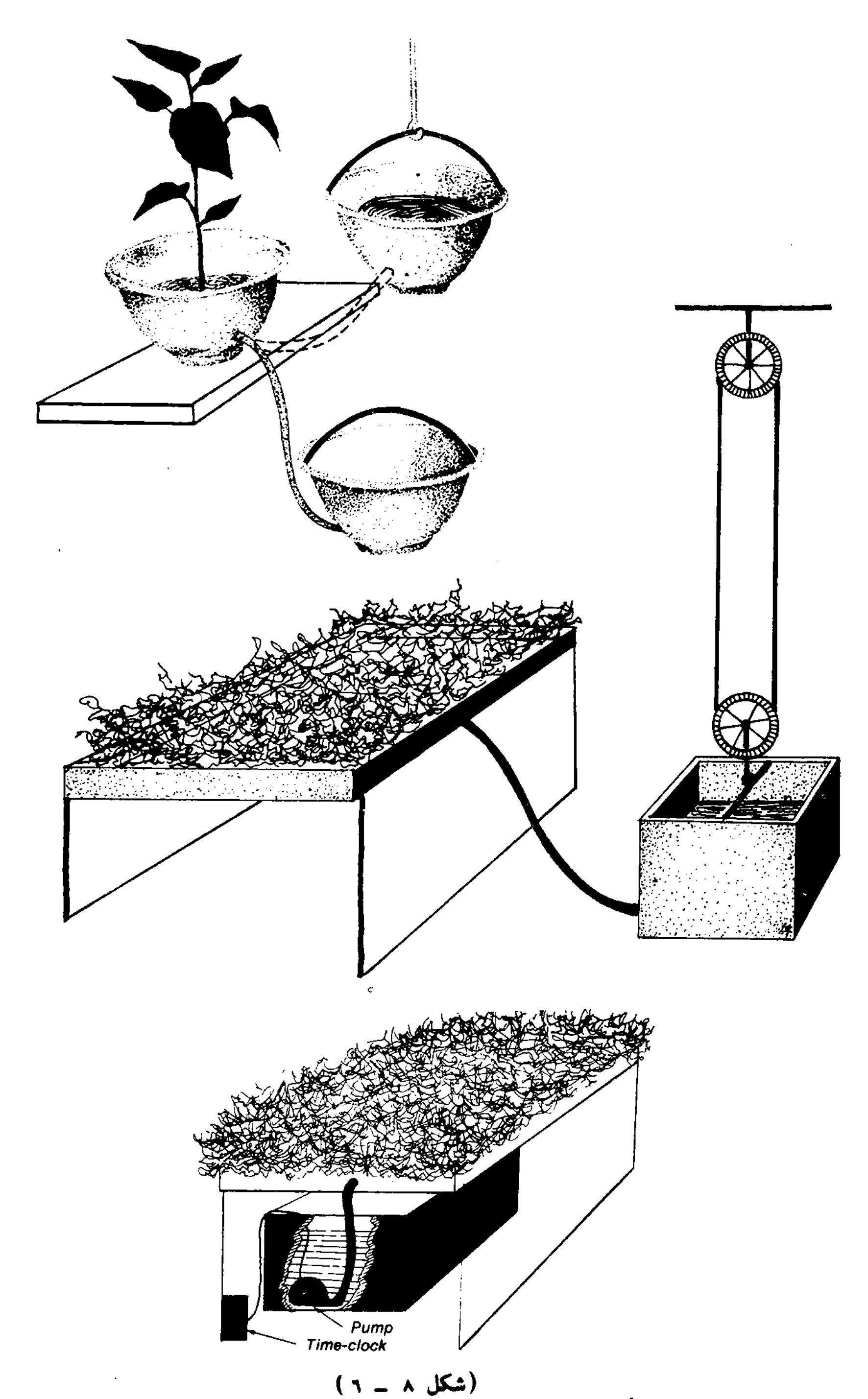
(شكل ٨ ـ ٥)

مخطط يوضح انشاء مزرعة حصى على شكل مدرجات يكون فيها سواقي الزراعة متدرجة ويكون حوض المحلول المغذي في اعلى نقطة من المدرج (مأخوذ عن **Resh** ، ١٩٧٨).

ثم يضخ الى الحوض الرئيسي للتغذية بواسطة مضخات خاصة . عند اجراء الري يجب ان يكون متسلسل بحيث يمتليء حوض الزراعة الاول بالحلول المغذي قبل السماح له بالانتقال الى الحوض الذي يليه . احواض الزراعة في هذا النظام لاتكون متساوية في الطول حيث يكون طول حوض الزراعة الذي يلي الحوض الاول أقصر منه بمقدار ٢٠ ٪ وطول الحوض الثالث أقصر من الثاني بنفس النسبة وهكذا وذلك يعود الى انخفاض حجم المحلول المغذي بسبب فقد الماء بالتبخر المباشر او النتح . ان طول حوض الزراعة الاول يجب ان لايزيد عن ٣٠ ــ ٣٦ متر وبذلك يكون حوض الزراعة الثاني ٢٤ ــ ٢٩ متر والحوض الثالث ١٩ ــ ٢٣ متر . ان عدد احواض الزراعة التي تنشأ بصورة متوازية تعتمد اساساً على حجم حوض المحلول المغذي وحجم حوض التجميع . وللمحافظة على مستوى المحلول المغذي في الحوض الرئيسي يجب تثبيت طوافه متصلة بمصدر مائي لهذا الغرض وكلما انخفض مستوى المحلول المغذي ينفتح صمام الطوافة ليعيده الى مستواه الاصلي . ولفتح وغلق الصمامات المرتبطة بحوض المحلول المغذي واحواض الزراعة المتدرجة يمكن تثبيت مؤقتات للسيطرة على كل صمام وتنظيم معدل جريان المحلول المغذي في هذه الاحواض . اما حجم المحلول المغذي الملائم هو ان يكون بمقدار يملأ حوض الزراعة الاول مضاف له مقدار ٢٠ ٪ . وحركة المحلول المغذي بين احواض الزراعة تعتمد اساساً على الجاذبية الارضية ماعدا ضخ المحلول المغذي من حوض التجميع الى الحوض الرئيسي حيث يتم بواسطة مضخة .

مزرعة الحصى المنزلية :

ان الزراعة في سنادين تحتوي على الحصى كوسط للزراعة ربما تعتبر من أقدم أنظمة الزراعة في الحصى . حيث توضع هذه السنادين على طاولة وتزرع فيها النباتات ويرتبط بهذه السنادين أوعية موضوعة جانباً على سطح الارض تستقبل المحلول المغذي (شكل ٨ ــ ٦أ) . هذه الاوعية ترتبط بواسطة انبوب مطاطي بهدف التغذية والبزل . فاذا اريد تغذية النباتات يرفع الوعاء المحتوي على المحلول المغذي وبفعل الجاذبية الارضية ينتقل المحلول المغذي الى وعاء الزراعة (السندانة) وبعد ان ينتقل جميع المحلول المغذي الى السندانة يخفض وعاء المحلول المغذي ثانية اسفل مستوى السنادين وبذلك يبزل المحلول المغذي . يمكن ان يوسع النظام بصورة اكبر ليشمل عدة اوعية للزراعة او استخدام حوض زراعة كبير نسبياً وقد تستخدم عتلة معينة لرفع وخفض حوض المحلول المغذي بهدف التغذية والبزل (شكل ٨ ــ ٦ب) . كما يمكن جعل التغذية والبزل تلقائياً باستخدام مضخة ماء (water pump) تربط الى مؤقت تقوم بضخ المحلول المغذي عند الحاجة (شكل ٨ ــ ٦جـ) .



(شكل ٨ ــ ٦)

مزرعة حصى منزلية ــ أ ــ الطريقة اليدوية في الري . ــ ب ــ استخدام العتلة في رفع وخفض المحلول المغذي بهدف الري . ــ جـ ــ استخدام مضخة،ماء كهربائية متصلة بساعة توقيت للقيام بالري اتوماتيكياً (عن Resh ، ١٩٧٨) .

References

1- Kiplinger, D.C., and Laurie, A., Gravel culture for growing ornamental greenhouse crops. Ohio Agricultural Experiment Station Research Bulletin 679: 1-59.(1949)

2- Resh, H.M., Hydroponic food production A definitive guidebook of soilless food growing methods. Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California, USA (1978).

3- Schwarz, M., and Vaadia, V., Limestone gravel as growth medium in hydroponics. Plant and Soil 31: 122-128 (1969).

4- Victor, R.S., Growing tomatoes using calcareous gravel and nutral gravel with high saline water in the Bahamas. Proceeding of the International Working Group in Soilless Culture Congress. Las Palmas (1973).

الفصل التاسع

الزراعة في نشارة الخشب

المقدمة :

يستخدم نظام الزراعة في نشارة الخشب في الدول التي يكون فيها انتاج الاخشاب غزيرا كما في حالة غرب كندا وشمال غرب الولايات المتحدة الامريكية وفي استراليا ونيوزلندة . وقد اجرت محطة الابحاث الزراعية في كندا دراسات مكثفة ولعدة سنوات حول امكانية استخدام نشارة الخشب كوسط للزراعة في انتاج محاصيل الخضروات في البيوت الزجاجية (Maas و Adamson ، ١٩٧١) . وقد ذكر Resh ، (١٩٧٨) ان حوالي ٨٠٪ من مجموع البيوت الزجاجية في مقاطعة British Columbia في كندا تستخدم فيها انظمة الزراعة بدون تربة وان نمط الزراعة في اغلب هذه البيوت تستخدم فيه نشارة الخشب كوسط للزراعة في حين ان البيوت الزجاجية المخصصة لانتاج الازهار تستخدم فيها خلطة مكونة من الرمل والبييت البيومس (Peat-Sand-Pumicemixture)

مواصفات الوسط :

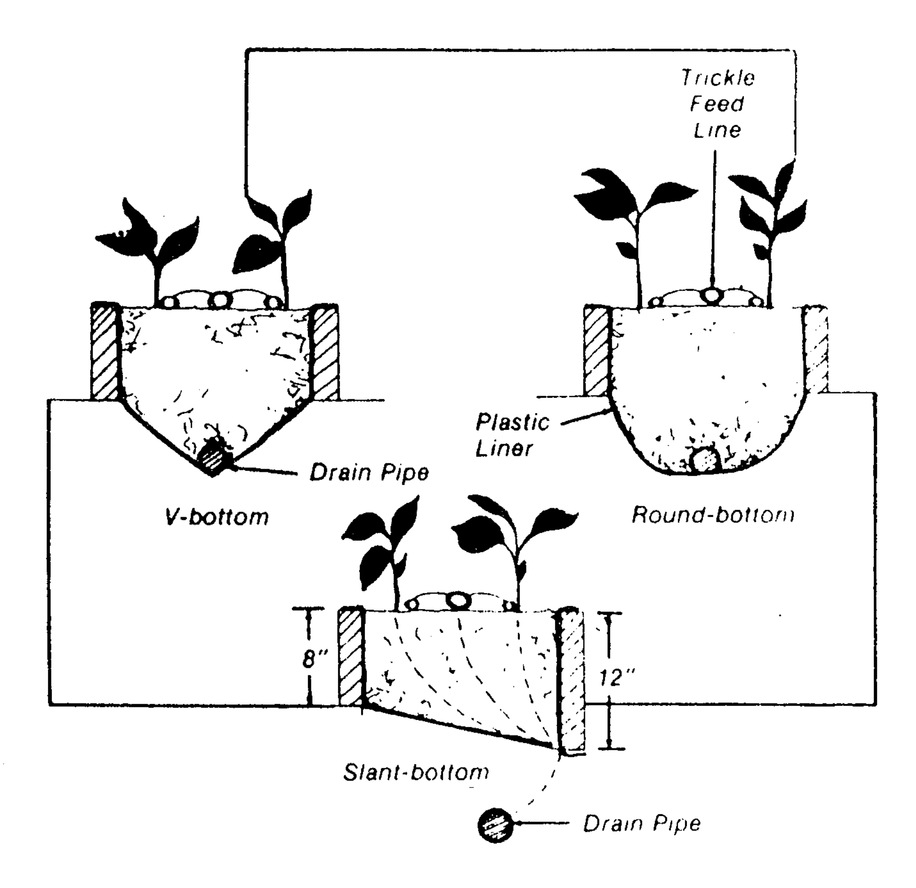
ان من اهم مواصفات هذا الوسط هو انه رخيص الثمن خصوصا في المناطق التي يتوفر فيها الخشب بكميات كبيرة اضافة الى انه خفيف الوزن . وتفضل النشارة المتوسطة النوعية او الخشنة قليلا لكي تستخدم كوسط للزراعة لان النشارة بهذه المواصفات تسمح بتوزيع الماء والرطوبة من خلالها بصورة جيدة ومتجانسة وقد ذكر Maas و Adamson (١٩٧١) ان نشارة الخشب المستخرجة من اشجار الـ Douglas fir (Pseudotsuga menziesii) و الـ

Westernhemlock (Tsuga heterophylla) تعتبر وسط ملائم لزراعة النباتات اما نشارة الخشب المستخرجة من اشجار Westera red cedar (Thuja plicata) فانها تحتوي على مواد سامة ويجب ان لاتستخدم في هذا النمط الزراعي .

يمكن استخدام نشارة الخشب لوحدها كوسط للزراعة او يمكن ان تكون احد مكونات خلطه للوسط الزراعي مثل الوسط المكون من النشارة والرمل والبيت Peat وبالرغم من نجاح هذه المخاليط الا ان استخدامها محدود بسبب ارتفاع التكاليف مقارنة بنشارة الخشب لوحدها الا ان المناطق التي لايتوفر فيها الخشب فأن النشارة تكون مرتفعة الثمن . في حالة استخدام هذا الوسط في الزراعة يجب تحديد محتوى النشارة من ملح كلوريد الصوديوم (NaCl) خصوصا في النشارة المنتجة من اخشاب تركت على شواطيء البحر لفترة زمنية معينة بأنتظار شحنها الى اماكن استهلاكها حيث قد تبقى الاخشاب على الشاطيء لعدة اشهر فتمتص الماء المالح الذي يحتوى على تراكيز عالية من هذه الايونات قد تصل الى مستوى السمية . لذلك قبل ان تستخدم النشارة كوسط للزراعة يجب اخذ عينات منها ويقدر فيها تركيز ملح كلوريد الصوديوم فاذا كان تركيز هذا الملح يزيد عن ١٠ جزء في المليون يستدعي عند ذلك غسل النشارة غسلا جيداً بالماء العادي بعد وضعها في سواقي الزراعة قبل ان تتم عملية الزراعة . ان عملية الغسل قد تستمر لمدة اسبوع لكي ينخفض تركيز الملح الى المستوى المطلوب .

تصميم سواقي الزراعة :

بصورة عامة يكون شكل السواقي مشابه لتلك المستخدمة في نظم الزراعة في الحصى والرمل الذي سبق شرحها . ويستخدم لهذا الغرض اخشاب الـ Cedar حيث انه غالبا ماتستخدم الواح خشبية بسمك ٢,٥ سم وعرض ٢٠ سم لصناعة هذه السواقي . وقد يكون شكل قاع الساقية على هيئة رقم ٧ او ذات قعر مقوس (شكل ٩ ـ ١) اما عمق الساقية فيتراوح بين ٢٥ الى ٣٠ سم ويوضع في الساقية انبوب البزل بقطر ٥ سم . عرض سواقي الزراعة يتراوح بين ٥٠ الى ٦٠ سم والمسافة بين السواقي حوالي ٨٠ سم ومن خلال نتائج الدراسات التي اجراها Maas و Adamson (١٩٧١) اوضحت ان كل نبات يحتاج الى حجم $\frac{1}{3}$ قدم^3 من الوسط لكي ينمو بصورة طبيعية وربما يدل ذلك على ان استخدام سواقي اضيق واكثر ضحالة من السواقي المذكورة آنفا تكون كافية لنمو النباتات . وقد تستخدم سواقي ذات قعر منحدر بزاوية نحو احد الجوانب حيث يمتد انبوب البزل في الجهة العميقة او قد يكون ممتدا اسفل قاع الساقية وتترك فتحة بعرض ١

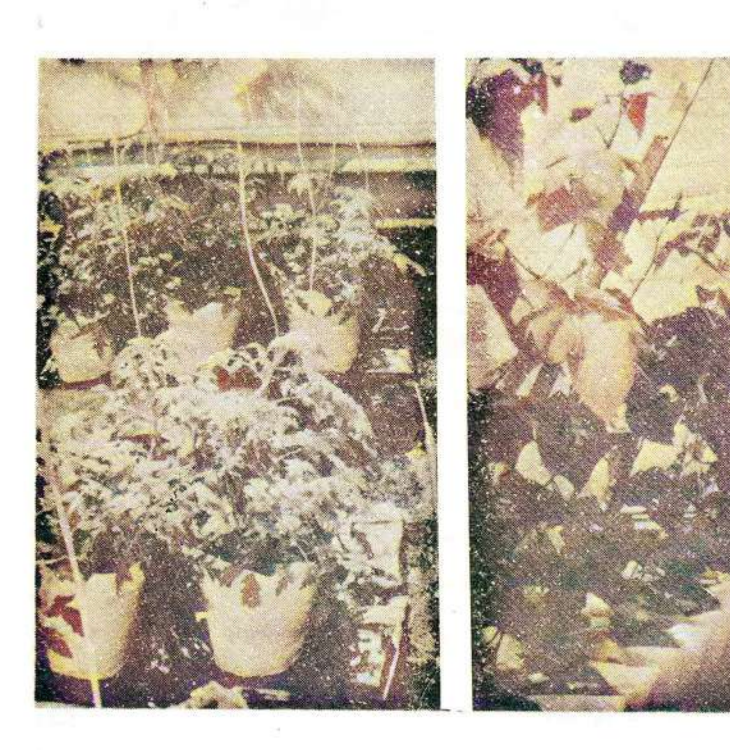


(شكل ٩ ـ ١) مقطع عرضي في سواقي الزراعة في نشارة الخشب حيث يتوضح موقع انبوب البزل وطريقة ري النباتات (عن Resh ، ١٩٧٨).

سم٢ في قاع الساقية في الجانب العميق حيث يتسرب المحلول المغذى الى هذا الانبوب وبالتالي يتجمع في انبوب التجميع الرئيسي (شكل ٩ ـ ١).

وقد تستخدم طريقة اخرى للزراعة في نشارة الخشب وهي باستعمال اكياس كبيرة من النايلون المملوءة بنشارة الخشب بدلا من الزراعة في السواقي. وملخص الطريقة هي ان اكياس من النايلون مشابهة لتلك التي توزعها امانة بغداد لجمع النفايات تملأ بنشارة الخشب ويعمل ثقب في اسفل الكيس حيث يمر من خلاله انبوب البزل وتوضع هذه الاكياس على ارض البيت الزجاجي بعد تغطيتها بطبقة من النايلون لمنع نمو الجذور خارج انابيب البزل الى داخل التربة في البيت

الزجاجي . تزرع ثلاث نباتات في كل كيس على استقامة واحدة ولكن تربيتها (توجيه نموها الخضري) يكون متبادل كي لا يحصل التزاحم والتشابك والتنافس على الضوء كما في (شكل ٩ ــ ٢) وهو مشابه لنظام الـ Grow bag في انكلترا .

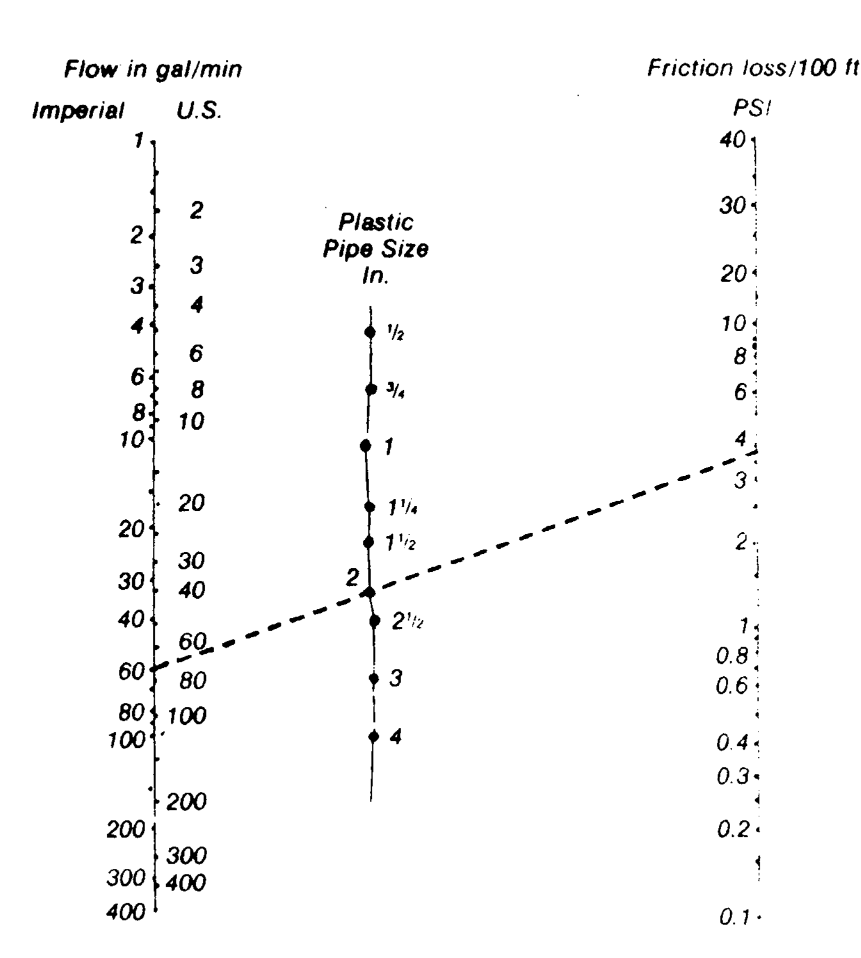


(شكل ٩ ــ ٢) مزرعتي طماطة وخيار في اكياس من نشارة الخشب ويلاحظ ان الزراعة تكون بصورة متبادلة لتقليل مشكلة التنافس على الضوء (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨) .

غالباً مايزرع في الاكياس المملوءة بنشارة الخشب نباتات يمكن ان تربى بصورة عمودية مثل الطماطة والخيار ولاتزرع النباتات ذات النمو الافقي كالفلفل والباذنجان . وللمزارعيين الاوربيين من منتجي الخيار طريقة خاصة للزراعة في هذه الاكياس وهي ان يزرع نبات واحد من الخيار في كل كيس على ان يترك كيس فارغ بين نبات وآخر حيث تربى وتسلق النباتات بانحدار معين وبعد انتهاء المحصول الاول تزرع شتلات الخيار للمحصول الثاني في الاكياس الفارغة وبهذه الطريقة يمكن انتاج خمسة أو ستة دورات لهذا المحصول في السنة الواحدة حيث عند انتهاء المحصول تؤخذ الاكياس وتعقم وتعاد الى مكانها مهيأة للزراعة بالمحصول التالي وهكذا .

اما طريقة الري في حالة الزراعة في نشارة الخشب فهي طريقة الري بالتنقيط (Drip Irrigation) حيث تستخدم انابيب فرعية على امتداد سواقي أو خطوط اكياس النشارة يتراوح قطرها من الداخل بين ١,٥ الى ٢,٥ سم وهذه يمكنها ان تغذى ١٠٠ الى ٣٠٠ انبوبة ثانوية ذات قطر ١,١ ملم لتغذية النباتات على التوالي. ولتحديد حجم حوض المحلول المغذي يعتمد اساساً على عدد النباتات التي تروى في كل عملية ري وعدد الريات باليوم وهذا الاخير يعتمد على درجات الحرارة وحجم وطبيعة نمو النبات. وعندما يراد استخدام تدفئة للمحلول المغذي ينشيء بعض المزارعين حوضين متجاورين فيستخدم احدها لتغذية النباتات اما الثاني فيحضر فيه المحلول المغذي الذي سيستبدل المحلول المغذي في الحوض الاول حيث ان المحلول المغذي الجديد الموجود في الحوض الثاني يدفأ لحين وصول درجة الحرارة الى الدرجة المطلوبة وذلك بمدة ١٢ ـ ٢٤ ساعة قبل اجراء عملية الاستبدال. ويفضل تثبيت خلاط في حوض المحلول المغذي يقوم بعملية خلط المواد الكيمياوية المستخدمة بصورة جيدة ومتجانسة.

جميع الانابيب المستخدمة في الري أو البزل يجب ان تكون مصنوعة من مادة غير قابلة للتفاعل مع المحلول المغذي الحامضي التأثير وغالباً ماتستخدم الانابيب البلاستيكية السوداء أو الانابيب المصنوعة من البلاستك المتصلب (PVC). كما ان اقطار هذه الانابيب مهم جداً وذلك من ناحية كفاءة توزيع المحلول المغذي وتقليل الفقد في الطاقة جراء الاحتكاك. فلو نأخذ مثالا بسيط حول هذا الموضوع نلاحظ ان انبوب ذات قطر ٥ سم وطول ٣١ م عندما يضخ فيه محلول بمعدل ٢٧٣ لتر/ دقيقة يحصل فقد في الطاقة يعادل ٣,٨ Psi في حين ان استخدام انبوب بقطر ٣,٨ سم بنفس الطول ونفس معدل الضخ للمحلول فإن الفقد يكون ١٣ Psi وهذا يعني ان الفقد الذي سيحصل في انبوب بهذا القطر وطول ٦٢ متر حوالي اكثر من ٢٥ Psi وهذا مالاينصح باستخدامه حيث ان مقدار الفقد بسبب الاحتكاك يجب ان لايزيد عن ٢٥ Psi. والمخطط السابق يوضح كيفية اختيار قطر الانبوب اعتماداً على الطول ومعدل الضخ بأقل فقد في الطاقة بسبب الاحتكاك (شكل ٩ ـ ٣) (Mason و Adamson ١٩٧٣). اما الانابيب الفرعية التي ستكون بامتداد خطوط زراعة النباتات سواء في السواقي أو في الاكياس يحبذ استخدام تلك التي قطرها ١,٩ سم ($\frac{٣}{٤}$ انج) حيث يمكنها ان تغذى ٣٠٠ نبات وبفقد لايزيد على ١ ـ ٢ Psi وهذا الانبوب يمكنه ان ينقل حوالي ٦٠٠ سم³ من المحلول المغذي بالدقيقة. اما طريقة التغذية فهي اما ان تستخدم الري بالمحلول المغذي المخفف أو ان يضاف قسم من الاسمدة بصورة جافة الى وسط الزراعة مثل عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والفسفور والعناصر الصغرى



(شكل ٩ ـ ٣)
مخطط يوضح كيفية اختيار قطر الانبوب المناسب . فلو اردنا الحصول على معدل انسياب ٦٠ غالون/ دقيقة وفقد في طاقة الانسياب بحدود ٣،٨ Psi / ١٠٠ قدم من طول الانبوب اذن قطر الانبوب يجب ان يكون ٢ انج (مأخوذ عن **Mason** و **Adamson** ، ١٩٧٣) .

ويبقى النتروجين والبوتاسيوم اللذان يضخان مع ماء الري الى النباتات على طول فترة نمو المحصول . استمرار الري بالمحلول المغذي قد يسبب تراكم لبعض الاملاح في الوسط مما يتسبب في رفع درجة التوصيل الكهربائي (أي زيادة في تركيز الاملاح) وهذا ينتج عنه تثبيط لنمو النباتات خصوصاً اذا ارتفع الى اكثر من ٤ مليموز/ سم لذلك في مثل هذه الحالات يخفف تركيز الأملاح في المحلول المغذي الى الربع أو الثلث وذلك باضافة الماء فقط وتستمر هذه العملية لعدة ايام لحين حصول انخفاض في الـ EC الى المستوى المطلوب (٢ ـ ٣ مليموز/ سم) .

مزايا ومساويء الزراعة في نشارة الخشب

١ ـ هذا النظام من الزراعة هو عبارة عن وسط مفتوح فهو مشابه للزراعة في الرمل أي ان انتشار الامراض خصوصاً الفطرية والبكتيرية يكون محدوداً .
٢ ـ يوفر هذا الوسط التهوية الجيدة للجذور وله القابلية العالية على الاحتفاظ بالماء ويسمح بحركة المحلول المغذي من خلاله بصورة متجانسة .
٣ ـ مقارنة بالاوساط الاخرى يعتبر وسط نشارة الخشب قليل الكلفة خصوصاً في المناطق التي يتوفر فيها الخشب بكثرة (مناطق الغابات) .

اما أهم عيوب ومساويء هذا الوسط هي :
١ ـ يجب ان يعقم كيمياوياً او بالبخار بعد كل موسم نمو .
٢ ـ يتراكم ملح كلوريد الصوديوم في هذا الوسط كما سبق ذكره وقد يصل تركيز هذا الملح الى مستوى السمية للنباتات ما لم يفسل جيداً لتخفيض مستوى الملح قبل الزراعة .
٣ ـ يتحلل بمرور الزمن كمادة عضوية ويفقد بعض خواصه لذلك يجب وباستمرار ازالة جزء منه واستبداله بنشارة جديدة لتعويض المتحلل او المفقود بسبب قلع وازالة النباتات .

References

1- Maas, E.F., and R.M. Adamson, Soilless Culture of commercial greenhouse tomato. Canadian Department of Agriculture Publication No. 1460 (1971).

2- Mason, E.B.B., and R.M. Adamson, Trickle watering and liquid feeding system for greenhouse crops. Canadian Department of Agriculture Publication No. 1510 (1973).

3- Resh, H.W., Hydroponic Food Production. Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California, USA (1978).

الفصل العاشر

الزراعة في اوساط اخرى

المقدمة :

هناك طرق اخرى عديدة من انظمة الزراعة بدون تربة استخدمت بنجاح وذلك باستعمال اوساط معينة للنمو مثل البيت (Peat) او الفيرميكولايت (Vermiculite) او البيرلايت (Perlite) او البيومك (Pumice) او مخاليط من هذه الاوساط مع الرمل بنسب معينة تلائم الانواع المختلفة من النباتات سواء كانت خضروات او نباتات ازهار او نباتات مشتل . كما واستخدمت اشكال متعددة من احواض الزراعة مثل الزراعة في اسطوانات دائرية (Ring culture) او الزراعة في اعمدة (Column culture) او الزراعة في اكياس (Sack culture) وغيرها .

وصف لاهم الاوساط والمخاليط المستخدمة :

١ ـ البيت Peat

تطلق كلمة (Peat) على مخلفات النباتات المائية وبقايا نباتات الاهوار والمستنقعات . حيث ان الانسجة النباتية الموجودة تحت الماء تكون متحللة جزئياً وذلك يعود الى قلة الاوكسجين وبالتالي قلة نشاط الاحياء الجهرية المحللة للانسجة مثل البكتريا اضافة الى ان سرعة، التفاعلات الكيمياوية التي تسبب تحلل هذه الانسجة تكون بطيئة . واعتماداً على ماتقدم فان البيت (Peat) يختلف باختلاف النباتات المكونة له ودرجة تحللها ومحتوى انسجتها من العناصر المعدنية ودرجة حموضتها (pH) (Patek ، ١٩٦٥ و Lucas وآخرون ، ١٩٧١ و Miller وآخرون ١٩٨١) . والبيت (Peat) يصنف الى ثلاثة انواع رئيسية هي البيتموس

(Peatmoss) ومخلفات القصب (reed sedge peat) والبيت هيومس (Peat humus) . يعتبر البيتموس من اقل انواع البيت تحللا ويستخرج من انسجة نباتات السفاجنم (Sphagnum) والهايبنم (Hypnum) وطحالب اخرى . ويختلف لون البيت من الاسمر الفاتح الى البني الغامق . ومن صفات البيتموس ان له قابلية عالية على الاحتفاظ بالماء وبمقدار يعادل ١٥ ضعف وزنه الجاف . كما ان هذا الوسط حامضي ذات pH منخفض (يتراوح بين ٣,٢ الى ٤,٥) ويحتوي على ١ ٪ من النتروجين ولكنه فقير جداً بالفسفور والبوتاسيوم . اما البيت المستخرج من القصب reed sedge peat فأنه يتكون من مخلفات الاعشاب والقصب ونباتات مائية اخرى . هذا البيت يختلف في تركيبه ولونه حسب نوع النبات المستخدم في تصنيعه حيث يتراوح لونه من البني المائل للاحمر الى الاسود . وحموضة هذا الوسط تتراوح بين ٤ الى ٧,٥ وقابليته على الاحتفاظ بالماء اقل من البيتموس حيث يحتفظ بالماء بما يعادل عشرة اضعاف وزنه الجاف .

البيت هيومس peat humus من جهة اخرى هو نفس البيت المستخرج من القصب الا ان درجة تحلل الانسجة كبيرة لذلك يصبح من الصعب تمييز المادة الاصلية المكونة له . كما قد يستخرج البيت هيومس من نباتات الهايتم ايضاً . يكون لون هذا الوسط بين داكن او اسود وقابليته على الاحتفاظ بالماء اقل من الوسطين السابقين حيث لاتزيد على ٢ الى ٣,٥ ضعف وزن الوسط .

٢ ـ السفاجنموس Sphagnum-moss

هذا الوسط عبارة عن أنسجة نباتية مجففة (أي انسجة حية غير متحللة) مثل الاوراق والسيقان للنباتات التابعة الى جنس الـ .Sphagnum spp ومن امثلتها S. Palustre, S. Capillaceam, S. Papillosum وهذه الانسجة تعتبر شبه معقمة ووزنها خفيف ولها قابلية عالية على الاحتفاظ بالماء (١٠ ـ ٢٠ ضعف وزنها الجاف) حيث ان انسجة السيقان والاوراق في هذه النباتات تحتوي على مجاميع من الخلايا تكسبها القابلية العالية على الاحتفاظ بالماء . هذه الانسجة المجففة تقطع وتكسر يدوياً أو ميكانيكياً قبل الشروع باستعمالها كوسط . من صفات هذا الوسط انه فقير بالعناصر المعدنية لذلك عند تنمية اية نباتات فيها مهما تكون الفترة الزمنية قصيرة تحتاج الى اضافة عناصر معدنية لها . كما ان الـ pH في هذا الوسط يتراوح بين ٣,٥ الى ٤ أي ان الوسط حامضي . وقد ذكر كل من Bluhm (١٩٧٨) و Coyier (١٩٧٨) ان انسجة هذه النباتات تحتوي على مواد مانعة لنمو الفطريات خصوصاً تلك التي تسمى فطريات موت البادرات (Damping off) .

٣ ـ الفيرميكولايت Vermiculite

وهو عبارة عن معدن المايكا (Mica) حيث ان هذا المعدن يتمدد كثيراً بالحرارة . اما من حيث التركيب الكيمياوي فهو عبارة عن سليكات المغنيسيوم ـ الالمنيوم ـ الحديد المتميئة . عندما تتمدد المايكا بالحرارة يصبح وزنها خفيف حيث ان وزن المتر المكعب الواحد حوالي ٩٠ الى ١٥٠ كغم وتفاعله متعادل وله سعة تبادلية جيدة وغير ذائب بالماء ويمكن للقدم المكعب الواحد منه ان يمتص ١٣ الى ١٨ لتر من الماء . وبسبب قابليته العالية على التبادل الايوني فان بعض العناصر المعدنية يمكن ان تدمص على اسطح حبيبات هذا الوسط ثم تتحرر باستمرار الى المحلول المغذي لتصبح جاهزة للامتصاص من قبل النبات . هذا الوسط يحتوي على كميات وافية من البوتاسيوم والمغنيسيوم بصورة جاهزة للنباتات .

صخور المايكا عبارة عن طبقات خفيفة منفصلة تحتوي بين طبقاتها على جيوب مايكروسكوبية تحتوي على الماء . وعندما توضع هذه الصخور في فرن بدرجة حرارة عالية (حوالي ١٠٩٠م) يتبخر الماء الموجود بين طبقات المايكا فتنتفخ هذه الطبقات مكونة حبيبات مسامية تشبه الاسفنج . كما ان هذا الوسط يعتبر وسط معقم بسبب تعرضه الى هذه الدرجة الحرارية العالية . ان الفيرميكولايت الذي يستعمله البستنين يقسم الى عدة درجات حسب الحجم حيث ان رقم ١ يكون قطر حبيباته بين ٥ الى ٨ ملم ورقم ٢ يكون قطر حبيباته بين ٢ الى ٣ ملم ورقم ٣ يكون قطر حبيباته ١ الى ٢ ملم ورقم ٤ وهو غالباً مايستخدم كوسط لانبات البذور حيث يتراوح قطر حبيباته من ٠,٧٥ الى ١ ملم . بعد ان يرطب وسط الفيرميكولايت يجب ان لايضغط لان صفة المسامية فيه تتحطم بهذه العملية .

٤ ـ البيومس Pumice

من الناحية الكيمياوية هو عبارة عن معادن ثاني اوكسيد السليكون واوكسيد الالمنيوم . كما يدخل في تركيبه كميات قليلة من اوكسيدات الكالسيوم والحديد والمغنيسيوم والصوديوم وهي ناتجة من صخور بركانية .

توجد عدة انواع من البيومس اعتمادا على حجم الحبيبات لكنها تختلف عن الفيرميكولايت بانها لم تعامل بالحرارة وانما تستخدم بحالتها الطبيعية . لهذا الوسط القابلية على تحسين التهوية والبزل في محيط جذور النباتات ويمكن ان يستخدم كوسط لوحده او ان يمزج مع اوساط اخرى مثل الرمل والبيتموس (Inose ، ١٩٧١) .

٥ . البيرلايت Perlite

البيرلايت مادة ذات لون رمادي وهي عبارة عن معادن سليكونية تستخرج من الحمم البركانية . صخور البيرلايت تجرش ثم تعامل بالحرارة في افران ذات درجة حرارة ٧٦٠ م ويحصل لهذه الحبيبات (الجريش) انتفاخ بعد ان يتحول الماء الموجود فيها الى بخار كما في حالة الفيرميكولايت . البيرلايت وسط خفيف الوزن حيث لايزيد وزن المكعب الواحد منه على ٢,٥ الى ٤ كغم (٥ ــ ٨ باوند) كما ان الحرارة العالية تجعل هذا الوسط معقم . ويتراوح قطر حبيبات البيرولايت المستعملة في الزراعة بين ١,٦ الى ٣ ملم وهو اخف وزنا من البيومس الا ان قابليته على الاحتفاظ بالماء اعلى من البيومس حيث يمكنه ان يحتفظ بثلاث الى اربعة اضعاف وزنه ماء . ويعتبر هذا الوسط متعادل التفاعل حيث تتراوح درجة حموضته من قليل الحامضية الى قليل القلوية (pH حوالي ٦ الى ٨) .
ويختلف عن الفيرميكولايت بأن ليس له القابلية على التبادل الايوني اي لايمتلك سعة تبادلية للايونات كما انه لايحتوي على اية عناصر معدنية جاهزة للنبات . ومن صفات هذا الوسط انه يحسن التهوية في حالة استعماله مع الاوساط المخلوطة حيث انه من الشائع لدى البستنين استعمال مخلوط من البيرلايت والبيتموس كوسط لتجذير العقل (Cooke و Dunsby ، ١٩٧٨) . ويستعمل البيرلايت ذو الحبيبات الصغيرة كوسط لانبات البذور في حين ان خليط منه مع الرمل يعتبر وسط جيد لنمو النباتات .

مخاليط الاوساط في الزراعة بدون تربة :

ان اغلب الاوساط المخلوطة يدخل في تركيبها البيت والبيرلايت والفيرميكولايت والبيومس والرمل . اما نسبة كل وسط من هذه الاوساط في الخلطة تعتمد على الهدف من الوسط وعلى نوع النبات . وفيما يلي عدة مخاليط مستعملة كاوساط في التطبيقات البستنية (جدول ١٠ ــ ١) .

غالباً مايستعمل البيومس بدلا من البيرلايت في مخاليط الاوساط بسبب رخص ثمنه .

ومن المخاليط الشائعة الاستعمال في الزراعة هي U.C. Mix و Cornell peat-Lite . فالمخلوط الاول هو احد نتائج البحوث في محطة الابحاث الزراعية في بيركلي في كاليفورنيا حيث ان هذه المخاليط تستخدم لاكثار النباتات وتنمية نباتات الامهات في المشتل . هذه المخاليط تتدرج من الرمل فقط وتنتهي

(جدول ١٠ ـ ١) انواع الاوساط المختلفة

الوسط	النسبة	الهدف
١ . بيت : بيرلايت : رمل	٢ : ٢ : ١	وسط جيد لنباتات السنادين .
٢ . بيت : بيرلايت	١ : ١	وسط ملائم للاكثار بالعقل .
٣ . بيت : رمل	١ : ١	وسط ملائم لاكثار النباتات بالعقل
٤ . بيت : رمل	١ : ٣	يستعمل لزراعة نباتات الامهات (Stock) في المشتل .
٥ . بيت : فيرميكولايت	١ : ١	لاكثار النباتات بالعقل
٦ . بيت : رمل	٣ : ١١	وسط خفيف الوزن جيد التهوية يستخدم لنباتات السنادين ونباتات الامهات في المشتل . كما انه جيد لاكثار نباتات الازاليا والكاردينيا والكاميليا حيث ان هذه النباتات تحبذ الوسط الحامضي .
٧ . الفيرميكولايت : بيرلايت	١ : ١	وسط خفيف الوزن جيد للاكثار بالعقل .
٨ . بيت : بيومس : رمل	٢ : ٢ : ١	وسط جيد لنباتات السنادين

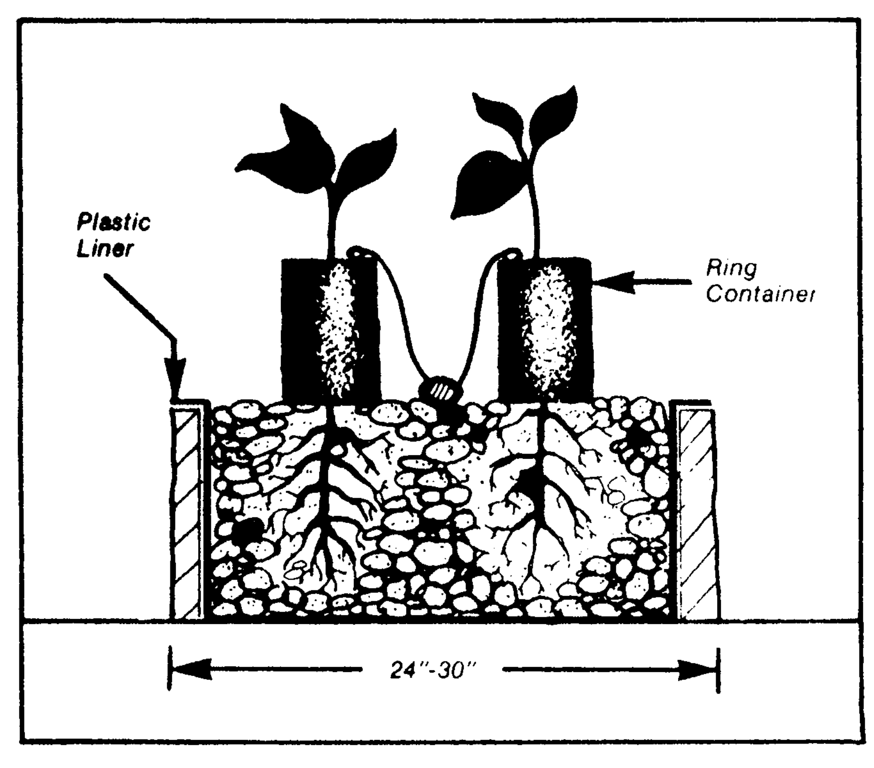
بالبيتموس فقط لكن الخاليط الشائعة والمستخدمة للاغراض البستنية فانها تحتوي على ٢٥ الى ٧٥٪ من الرمل الناعم مخلوطة مع ٧٥ الى ٢٥٪ بيتموس .

اما وسط الـ Cornell Peat Lite فقد انتج في جامعة كورنيل في نيويورك حيث يحتوي على نسب متساوية من البيت والفيروميكولايت وقد استخدم هذا الوسط بنجاح لانبات البذور ونقل البادرات وكذلك لنباتات السنادين . كما استخدم بعض المزارعين هذه الخاليط (Cornell Peat-Lite, U.C. MiX) كاوساط لانتاج الطماطة تجاريا بنفس الطريقة التي استخدم فيها نشارة الخشب (انظر الفصل السابق) . عند الرغبة في استعمال احد هذه الخاليط كوسط للزراعة من الضروري ان تضاف جميع العناصر المعدنية . ويعتبر وسط (Cornell

(Peat-Lite) اخفف وزنا من وسط الـ U.C. mix لانه يتكون من البيرلايت والفيرميكولايت الخفيفي الوزن حيث لايتجاوز وزن اي منهما اكثر من $\frac{١}{١٠}$ وزن الرمل الناعم . اما وسط الـ Peat-Lite فأنه يتكون من نسب متساوية من السفاجنموس مع البيرلايت او الفيرميكولايت (Kester, Hartmann ، ١٩٨٣) .

الزراعة في اسطوانات دائرية Ring Culture

ان اول من استخدم هذه الطريقة هم المزارعين في انكلترا لانتاج الطماطة . وتتلخص الطريقة بأن تملأ اكياس من البلاستيك ذات قطر ٢٠ ـ ٢٥ سم بوسط معقم او مخلوط معين مثل البيت ـ رمل او البيت ـ فيرميكولايت او اوساط خاصة مثل الـ U.C. MiX أو Cornell Peat-Lite تزال قاعدة الاكياس فتصبح كالاسطوانة المفتوحة الطرفين . توضع هذه الاسطوانة فوق سطح الوسط الخفيف الوزن الذي ملئت به الساقية (حوض الزراعة) بعمق ١٠ الى ١٥سم . تبطن احواض الزراعة بالبلاستيك او اية مادة غير منفذة للماء لكي تمنع الجذور من النمو خارج حوض الزراعة . واهم ميزة لهذا النمط من الزراعة هي ان تدفئة محيط الجذور خلال الايام الباردة يكون اسرع مقارنة بالزراعة في السواقي الا انه على المدى البعيد فان طريقة الزراعة في احواض الزراعة او السواقي توفر تهوية افضل بكثير من الزراعة في اسطوانات دائرية . تصميم احواض الزراعة في نمط الزراعة في اسطوانات مشابه تماما لتلك المستخدمة في حالة الزراعة في الرمل او نشارة الخشب حيث ان عرض حوض الزراعة حوالي ٦٠ الى ٧٥ سم ونفس المسافة بين السواقي (مماشي) . نباتات الطماطة تزرع بخطين في الحوض وعلى بعد ١٥ سم من حافة الساقية فتكون المسافة بين الخطين في الساقية ٣٠ الى ٤٥ سم اما المسافة بين نبات وآخر هي ٣٠ الى ٣٥ سم . اذا كان النظام مفتوح (اي لايجمع محلول البزل) فتعمل فتحات في البلاستيك المبطن للساقية على جوانب الساقية بارتفاع ٢,٥ الى ٥ سم عن قاع الساقية وبمعدل فتحة (قطر الفتحة ١,٥ سم) لكل ثلاثة امتار من طول الساقية ليبزل المحلول المغذى الفائض عن الحاجة لمنع الغدق . تملأ الاكياس بقطر ٢٢,٥ سم وارتفاع ٢٢,٥ سم بالوسط سواء الخليط الخاص او اي خليط من اوساط مختلفة حسب المواصفات المطلوبة وتوضع هذه الاكياس فوق سطح الوسط في الساقية او حوض الزراعة . تملأ هذه الاكياس الى ثلثيها بالوسط ثم توضع الشتلات وتعاد عملية الملىء الى ان يصبح مستوى الوسط الى ٢,٥ ـ ٣سم من الحافة العليا للكيس . اما طريقة الري فقد تستخدم عملية الري بالتنقيط لهذا الغرض (شكل ١٠ ـ ١) .



(شكل ١٠ ـ ١)

مخطط يوضح طريقة الزراعة في اسطوانات دائرية وطريقة تغذيتها والمسافة بين اسطوانة واخرى (مأخوذ عن **Resh** ، ١٩٧٨) .

الزراعة على هيئة اعمدة Column Culture

لقد استخدمت هذه الطريقة من الزراعة في ايطاليا واسبانيا حيث استخدمت براميل تثبت فوق بعضها (شكل ١٠ ـ ٢) . ملئت هذه البراميل بالحصى او بخلطه تحتوي على البيتموس وعملت فيها فتحات على الجوانب ووزعت النباتات في هذه الفتحات . وقد تم تطوير هذه الطريقة وذلك باستخدام انابيب من الاسبستوس حيث تتوزع فيها الفتحات الجانبية بشكل حلزوني حول محيط هذه الانابيب . ويجب التأكيد هنا ان هذه الطريقة تنجح بصورة جيدة مع النباتات الصغيرة خصوصاً نباتات الشليك والخس . وتتم عملية ري النباتات في هذه الانابيب بطريقة الري بالتنقيط حيث يمر انبوب التغذية من فوق انابيب الزراعة (انابيب الاسبستوس) وهذا الانبوب فيه فتحات موزعة بمعدل فتحة او فتحتين لكل برميل . كما ويمكن استخدام النظام المغلق في هذه الطريقة من الزراعة اي



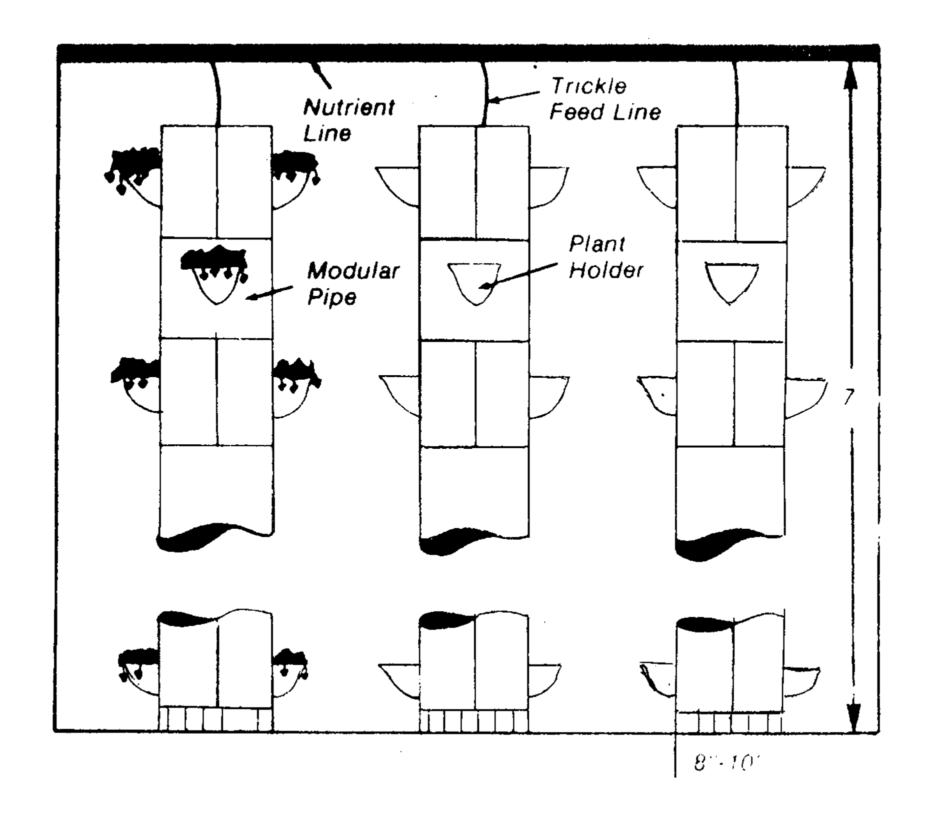


(شكل ١٠ ـ ٢)

أ ـ طريقة زراعة الشليك في اعمدة في جزر الكناري باستخدام براميل .

ب ـ استخدام اسطوانات من الاسبستوس في منطقة كوستاريكا وذلك بأستخدام الحصى كوسط للزراعة والمحلول المغذي في دوران مستمر (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨) .

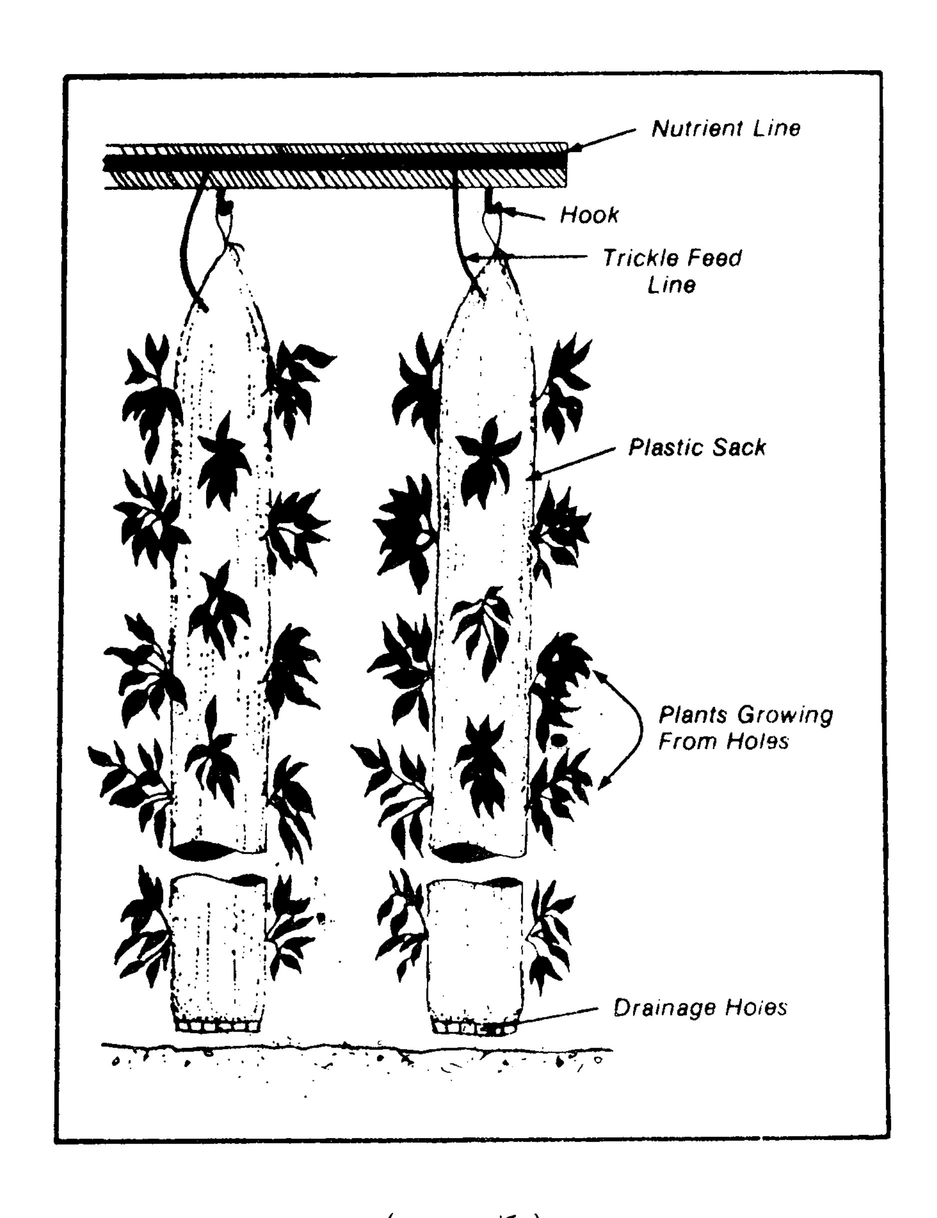
جعل المحلول المغذي في حالة دوران مستمر خصوصاً عند استعمال الحصى كوسط للزراعة حيث يمر انبوب التجميع اسفل البراميل او ان تعمل ساقيه مبطنة بالبلاستيك لهذا الغرض حيث يتجمع المحلول المغذي وينساب الى حوض المحلول المغذي الرئيسي ليضخ ثانية الى براميل الزراعة . في ايطاليا صنعت انابيب الزراعة بحيث تكون فيها فتحات جانبية وهذه الفتحات محاطة بحوض صغير بحجم الكوب (شكل ١٠ ـ ٣) حيث ان هذه الاكواب تكون بمثابة سنادين صغيرة للنباتات فتملأ بخليط من البتموس واوساط اخرى الا انه غالباً مايكون الري في هذا النمط من الزراعة بنظام الري المفتوح اي ان المحلول المغذي لايجمع ولايعاد ضخه .



(شكل ١٠ ــ ٣)
الطريقة الايطالية للزراعة في اعمدة حيث يلاحظ الشكل الشبيه بالكوب الذي يحيط بكل فتحة جانبية حيث تتم الزراعة في هذا الكوب وتتم عملية الري من اعلى العمود (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨).

الزراعة في اكياس معلقة

هذه الطريقة من الزراعة هي وسيلة مبسطة للطريقة السابقة حيث انها تشبه طريقة الزراعة في أعمدة الا ان البراميل استبدلت بأكياس من البولي اثيلين (البلاستيك) حيث يستعمل لهذا الغرض البلاستيك الاسود بسمك ٠,١٥ ملم وقطر الكيس حوالي ١٥سم وطوله ١٨٠ الى ٢٠٠سم حيث تملأ الاكياس بخليط من البيتموس والفيرميكولايت. تعلق هذه الاكياس بواسطة حبال في سقف البيت الزجاجي (شكل ١٠ ــ ٤) وتعمل فتحات في الاكياس بنفس الطريقة المذكورة آنفاً حيث ان قطر الفتحة حوالي ٢,٥ ــ ٥سم لتزرع فيها النباتات. تتم عملية تغذية وري النباتات بواسطة الري بالتنقيط حيث يمر فرع من انبوب التغذية في

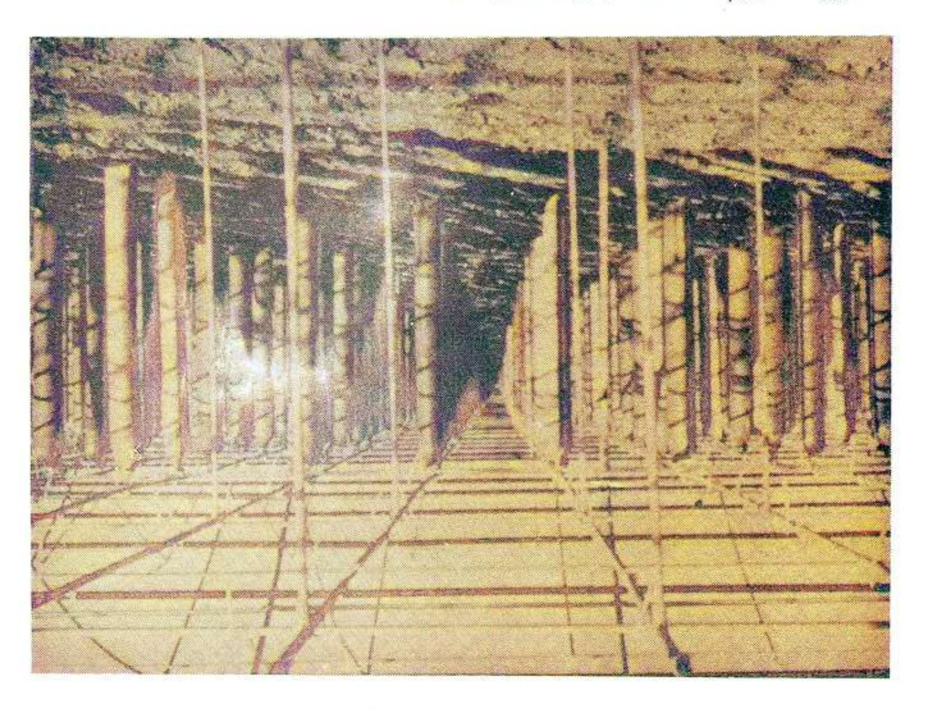


(شكل ١٠ ـ ٤)

مخطط يوضح كيفية الزراعة في اكياس معلقة وطريقة تغذية النباتات فيها (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨) .

كل كيس . اما عملية تعليق الاكياس فتتم بواسطة حوامل تثبت داخل البيت الزجاجي بشكل خطوط متوازية يفصل الخط عن الخط الاخر مسافة ١٢٠ سم وبين

كيس وآخر ٨٠سم . تروي الاكياس بمعدل ١ ـ ٢لتر في كل عملية ري وتتم العملية خلال ٢ ـ ٥دقائق ويتم تجميع المحلول المغذي المنبزل وتحويله الى حوض التغذية ليعاد ضخه (نظام مغلق) . ومن الضروري ضخ ماء نقي خلال النظام مرة في الشهر على الاقل لازالة الاملاح المتراكمة في الوسط . وفي نهاية الموسم تستبدل الاكياس القديمة بأكياس جديدة وتملأ بوسط معقم . ان طريقة الزراعة في اكياس تستخدم عادة لانتاج الخس والشليك حيث انها نباتات صغيرة وان مجموعها الخضري لايشغل حيز كبير من البيت الزجاجي الا ان هذا لايعني انه لايمكن استخدام هذه الطريقة مع محاصيل الخضروات الاخرى حيث ان التجارب اثبتت ان الزراعة في اكياس تعتبر طريقة ملائمة لانتاج الطماطة والخيار والفلفل والباذنجان وغيرها . وتوجد في الوقت الحاضر مزرعة على مساحة ٣٢دونم من البيوت الزجاجية في ايطاليا تعمل بهذا النظام ينتج فيها الشليك بدرجة رئيسية وقد استخدمت في هذه المزرعة السيطرة الالكترونية لتغذية جميع هذه البيوت الزجاجية حيث ان العقل الالكتروني يحدد كمية ماء الري وفترته اعتماداً على الظروف الجوية السائدة ومرحلة نمو النبات (شكل ١٠ ـ ٥) .



(شكل ١٠ ـ ٥)

مزرعة شليك في بيت زجاجي بمساحة ٣٢دونم استخدم فيها نظام الزراعة في اكياس معلقة ويتم الري فيها تلقائياً بواسطة السيطرة الالكترونية (مأخوذ عن Resh ، ١٩٧٨) .

References

1- Bluhm, W.L., Peat, Pests and propagation. Proceeding of the International plant Propagation Society 28: 66-70 (1978).

2- Cooke, C.D, and Dunsby, B.L., Perlite for propagation. Proceeding of the International Plant Propagation Society 28: 224-228 (1978).

3- Coyier, D.L., Pathogens assossiated with peat moss used for propagation. Proceding of the International Plant Propagation Society 28: 70-72 (1978).

4- Hartmann, H.T., and Kester, D.E., Plant Propagation, Principles and Practices. 4th. ed. Prentice-Hall Inc., Englewood cliffs, New Jersy, USA (1983).

5- Inose, K., Pumice as a rooting medium. Proceeding of the International plant Propagation Society 21: 82-83 (1971).

6- Lucas, R.E., Riecke, P.E., and Farnham, R.S., Peats for soil improvement and soil mixes. Michigan. Cooparation Exetnsion Service Bulletin No. E-516 (1971).

7- Miller, N., Bogs, bales and BTU's: A prime on Peat. Horticulture49: 38-45 (1981).

8- Patek, J.M., Peat moss. American Horticulture Magazine 44: 132-141 (1965).

الفصل الحادي عشر

الامراض وطرق مكافحتها

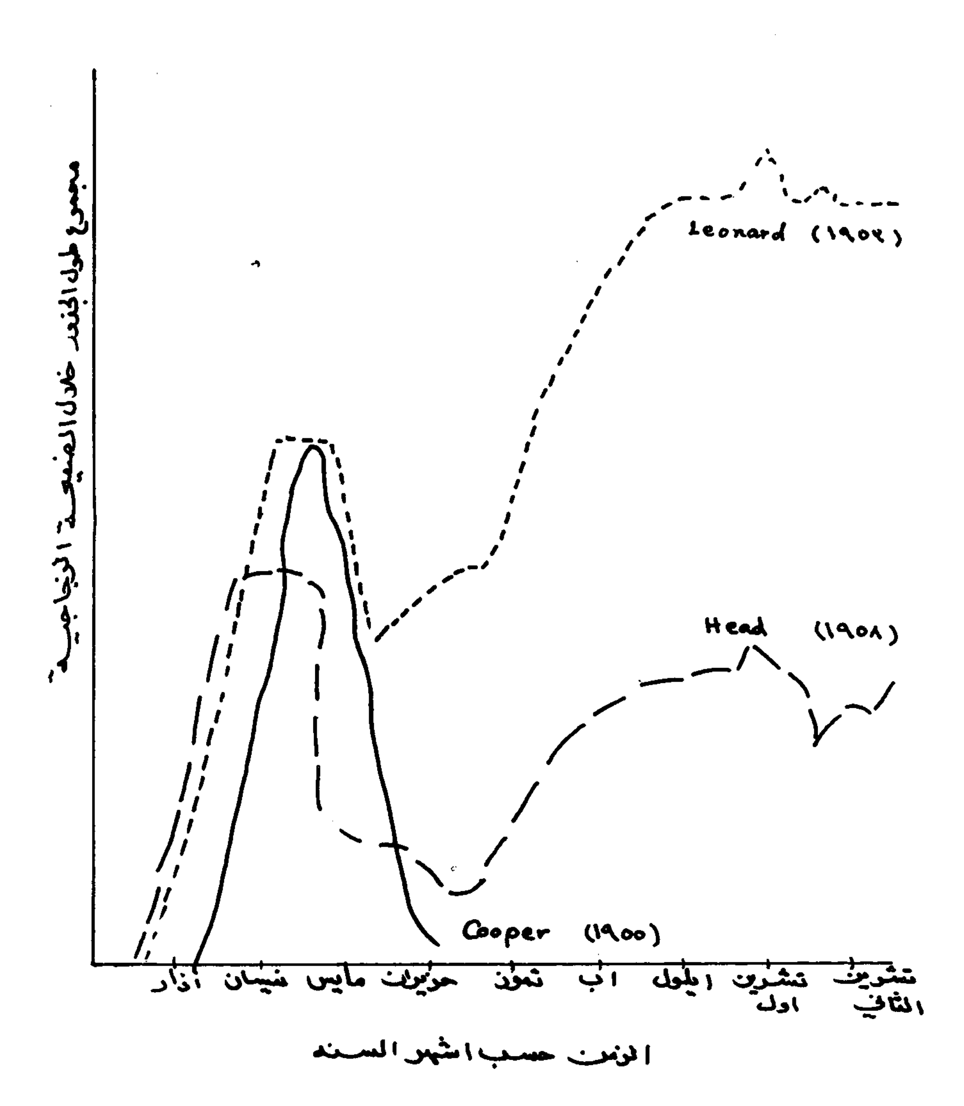
المقدمة :

تصاب الخضراوات بعدد من الامراض الفسيولوجية نتيجة لتأثير الظروف البيئية الغير ملائمة للنمو . كما يوجد عدد من الامراض الفطرية والبكتيرية والفايروسية تصيب نباتات الخضر المختلفة .

أولا : الامراض الفسيولوجية

١ ـ مرض موت الجذور Root Death

ظاهرة موت الجذور معروفة في بعض النباتات منها الطماطة . ولان الزراعة بدون استخدام تربة خصوصاً في تكنيك الفلم المغذي (NFT) الذي يسمح بمشاهدة الجذور تصبح هذه الظاهرة واضحة للعيان حيث بمجرد رفع النبات من وسط النمو يمكن ملاحظة المجموع الجذري بكامله . لكن هل ان ظاهرة موت الجذور مرتبطة بالزراعة بدون استخدام تربة فقط ؟ الجواب طبعاً كلا لان هذه الظاهرة تحصل في النباتات المزروعة في تربة أو بدون تربة . يبدأ توقف نمو الجذور الجديدة وتتحلل الجذور القديمة عند بداية التزهير وتستمر هذه الظاهرة حتى نضج أول ثمرة . وقد درست هذه الظاهرة بصورة موسعة من قبل عدد من الباحثين خلال الاعوام ١٩٥٢ الى ١٩٥٨ حيث عملت اخاديد بجانب خطوط نباتات الطماطة ووضعت زجاجة في الاخدود ليتسنى متابعة نمو المجموع الجذري بصورة واضحة وقد استعرض Cooper (١٩٧٩) نتائج عدد من الباحثين حيث لاحظوا توقف مفاجيء لنمو الجذور وحصول فقد كبير يتراوح بين ٥٠٪ الى ٩٠٪ من المجموع الجذري للنبات وهذا الفقد يعود الى موت وتحلل الجذور الثانوية والتفرعات الجذرية والشكل (١١ ـ ١) يوضح بعض هذه النتائج .



(شكل ١١ ـ ١) سلوك جذور نباتات الطماطة من خلال النظر اليها عبر صفيحة الزجاج . هذه النباتات مزروعة في تربة عادية (محور عن Cooper ، ١٩٦٩) .

هذه الظاهرة سميت بتوقف مايس May check لانها تحصل في شهر مايس في انكلترا (اعتماداً على موعد الزراعة) كما لوحظ ان هذه الظاهرة يصاحبها انخفاض كبير في نمو النباتات . هذه معروفة جيداً لدى منتجي الطماطة (ظاهرة توقف النمو) خصوصاً خلال فترة التزهير وحمل الثمار وحتى بداية قطف الثمار الاولى حيث تكون النباتات في هذه المرحلة تحمل اكبر وزن من الثمار مما دفع بعض الباحثين الى الاعتقاد بأن موت الجذور ربما يعود الى التنافس بين الثمار والجذور على الكربوهيدرات المصنعة في الاوراق . ومن الجدير بالذكر ان امتصاص العناصر المعدنية في هذه المرحلة ينخفض كثيراً .

٢ ـ مرض تبقع الاوراق

ربما يظهر هذا المرض في المناطق الحارة صيفاً حيث لاتوجد هناك مشكلة في نمو النباتات اثناء اشهر الشتاء الا انه عند حلول اشهر الصيف حيث قد ترتفع درجة حرارة المحلول المغذي الى اكثر من ٤٠ م . ان ارتفاع درجة الحرارة الى هذا الحد هو اعلى بكثير مما يمكن للجذور تحمله (اقصى درجة حرارة تتحملها الجذور لمعظم النباتات النامية في اوساط بدون تربة هي ٣٥م) . وقد ذكر Graves (١٩٨٤) ان احد الباحثين تمكن من تنمية الخس في محيط ذات درجة حرارة ٢٩ م لمحيط الهواء و ٢٠ م لمحيط الجذور (المحلول المغذي) الا ان المشكلة التي واجهها هذا الباحث هي ان النباتات اصيبت بمرض موت البادرات Damping off نظراً لاصابتها بالفطر **Pythium aphanidermatim** عندما ارتفعت درجة حرارة المحلول الى ٢٩ م . كما ان هذا الفطر يسبب فشل الزراعة الصيفية للخيار والطماطة .

اما في المناطق المعتدلة والباردة فقد ذكر Graves (١٩٨٤) ان اوراق الطماطة تتبقع وتظهر هذه البقع بشكل دوائر بمساحة ٢ ـ ٤ ملم٢ شفافة اللون على الاوراق الحديثة التي سرعان ماتتسع ويعود اللون الشفاف لهذه البقع الى موت خلايا الميزوفيل . وبعد مرور فترة اسبوعين تتيبس هذه البقع وغالباً ماتؤثر على جميع الاوراق . وفي حالات الاصابة الشديدة قد تظهر البقع على اجزاء اخرى من النبات مما يتسبب في انخفاض الحاصل . وقد لوحظ ان اعراض التبقع تظهر على الاوراق عند تعرض النبات الى ٢ ـ ٣ ايام من الجو الصحو يعقبها فترة تتراوح بين ٥ الى ١٠ ايام غائمة . هذا التتابع الذي يحصل في اوربا خلال الشتاء وبداية الربيع ربما يسبب ذبول الاوراق الحديثة ويمكن التغلب على هذه المشكلة بضخ المحلول المغذي بصورة متقطعة بدلا من ضخه بصورة مستمرة (Cooper ، ١٩٧٩) .

٣ ـ مرض الوجه المنبعج (وجه القط) Catface

يحدث هذا المرض نتيجة لتوقف نمو جزء من نسيج الثمرة ويعتقد ان السبب الرئيسي هو الانخفاض الكبير في درجة حرارة الليل حيث ان هذه الحرارة لها تأثير كبير على التلقيح أو انبات حبوب اللقاح ونمو الانبوبة اللقاحية أو عملية الاخصاب أو نمو البذور لذلك من الضروري تجنب حدوث انخفاض للحرارة الى مادون ١٣ م اثناء الليل . ان نمو البذور وكما هو معروف ينتج هرمونات التي تشجع انسجة الثمرة على النمو . ان فشل عدد من البذور من النمو الطبيعي تؤدي الى عدم انتظام نمو جزء الثمرة المتاخم لها وغالباً ماتظهر اعراض المرض على الطرف الزهري للثمرة فتكون المنطقة متعرجة ونموها غير منتظم . وتختلف الاصناف في درجة حساسيتها لظهور هذا المرض لذلك يمكن استنباط اصناف مقاومة بهدف السيطرة على هذا المرض كما يجب تجنب التذبذب في الري وعدم تعريض النباتات الى فترات جفاف ثم ري غزير .

٤ ـ عدم التلون المنتظم للثمار Greenback

ان عملية تحول اللون الاصفر في ثمار الطماطة الى اللون الاحمر يتوقف عندما ترتفع درجة حرارة اللب الى اكثر من ٣٠ م وبذلك يبدأ ظهور اللون الاصفر بدلا من اللون الاحمر الزاهي . ومن الملاحظ ان ارتفاع درجة الحرارة الى اقل من ٣٥ م في محيط الهواء تحصل هذه الظاهرة الا ان انخفاض درجة الحرارة يظهر اللون الاحمر ثانية . لكن اذا ارتفعت درجة الحرارة الى ٤٠ م فإن اللون الاحمر سوف لن يظهر حتى لو خفضت درجة الحرارة وبذلك تصبح اجزاء الثمرة خضراء أو صفراء والاجزاء الاخرى حمراء وهذه الصفة غير مرغوبة تجارياً .

تحصل هذه الحالة عند تقدم الربيع حيث ترتفع درجة الجرارة دأخل البيوت الزجاجية أو البلاستيكية الى حوالي ٣٥ م وعموماً تكون درجة حرارة لب الثمرة اعلى من درجة حرارة المحيط بحوالي خمسة درجات مئوية أي ان درجة حرارة لب الثمرة تكون بحدود ٤٠ م . لذلك يجب استخدام الاصناف المقاومة خصوصاً ذات النمو الخضري الغزير نسبياً ويمكن تظليل الثمار ببعض المواد لحمايتها من حرارة الشمس المباشرة .

٥ ـ لفحة الشمس Sun Scald

تظهر الحالة عندما تتعرض الثمار في طور النضج الاخضر في الطماطة وكذلك الفلفل والباذنجان الى درجات حرارة مرتفعة ورطوبة منخفضة (جفاف) وشمس

مباشرة . كما يظهر على ثمار النباتات المصابة بمرض الذبول الفيوزارمي والفيرتسلي كما تصاب ثمار النباتات ذات التفرعات الكثيرة والاوراق المتباعدة . تظهر الاصابة على الثمار بشكل بقع بيضاء أو صفراء في جزء الثمرة المعرض للشمس وقد تبقى البقع كما هي الى ان يتم نضج الثمار وقد يتجعد سطح البقع المصابة وقد تنمو عليها فطريات مما يؤدي الى ظهور تعفن داخلي . وللحماية يفضل استخدام اصناف ذات اوراق كبيرة تظلل الثمار وغير حساسة للامراض التي تسبب سقوط الاوراق كالامراض الفطرية اعلاه . ويمكن تغطية الثمار بالتبن أو القش .

٦ ـ مرض تشقق الثمار Fruit Cracks

يحصل التشقق في ثمار الطماطة في مرحلة النضج ويكون على هيئة شقوق طولية أو عرضية حيث يتعرض لب الثمرة الى المحيط الخارجي مما يسبب نمو الفطريات عليه . وتزداد حالات تشقق الثمار خلال الفترات التي يسودها امطار غزيرة وحرارة مرتفعة نسبياً اي الظروف التي تساعد على النمو السريع . وقد تتشقق الثمار عند تعرض النباتات الى ظروف الرطوبة المنخفضة لذلك يظهر هذا المرض على ثمار النباتات المرباة على دعائم . وقد وجد ان قطف الثمار في طور النضج الاخضر يقلل من هذا المرض كما يجب استخدام اصناف ذات مقاومة عالية وتقليل الري عند الحصاد وتغطية الثمار بالمواد الواقية من لفحة الشمس .

٧ ـ مرض تجوف الثمار Pockets or Puffiness

يظهر هذا المرض على ثمار الطماطة ايضاً وهو عبارة عن تكون ثمار فارغة من الداخل وعند الضغط عليها تنبعج بسهولة . ان سبب ظهور هذا المرض هو انتفاخ المبيض دون امتلائه بالكربوهيدرات . واهم الظروف البيئية المشجعة لظهور هذا المرض هي قلة الضوء حيث تكون كمية الكربوهيدرات قليلة وغير كافية لتغطية احتياجات نمو الثمار ونمو النبات خصوصاً عندما تكون الظروف البيئية الاخرى مساعدة للانتفاخ السريع لمبيض الثمرة . وقد ينشأ هذا المرض عندما يكون تركيز الهرمونات في الثمار مرتفع أو عندما ترش النباتات ببعض المواد الكيمياوية المشجعة للنمو . كما ان لدرجة حرارة الليل المرتفعة دور كبير في ظهور هذا المرض من خلال تأثيرها في زيادة معدل سرعة التنفس واستفاذ الكربوهيدرات . وللوقاية يجب عدم تعريض النباتات الى حرارة مرتفعة اثناء الليل وعدم استخدام منظمات النمو على النباتات خصوصاً تلك التي تسبب سرعة نمو مبيض الثمرة أو تلك التي تسبب تساقط بعض الثمار العاقدة لتشجيع نمو الثمار الاخرى بصورة سريعة .

ثانياً : الامراض المتسببة عن مسببات مرضية

أ ـ الامراض الفطرية والبكتيرية

١ ـ مرض الذبول Wilting

من اعراض هذا المرض هي ذبول النباتات في العائلة الباذنجانية كالطماطة والفلفل والباذنجان خصوصاً في الايام الحارة وبمرور الزمن واشتداد الاصابة تصبح صفة الذبول ملازمة للنباتات المصابة حيث تصبح الاوراق صفراء وعند عمل قطع عرضي في الساق في منطقة التاج يلاحظ وجود حلقة بنية دلالة على وجود الفطر في اللحاء . مسببات هذا المرض هي فطريات الفيوزاريوم .Fusarium spp والفيرتيسلم .Verticillum spp . الاجراءات الواجب اتباعها في السيطرة ومكافحة هذا المرض هي تعقيم وسط الزراعة واستخدام اصناف مقاومة . وفي دراسة اجراها Staunton و Cormicon (١٩٧٨) حول انتشار الامراض الفطرية في وسط الجذور بواسطة المحلول المغذي فقد لوحظ ان تلويث المحلول المغذي سواء باضافة مجموعة من الفطريات له أو زراعة نباتات مصابة بهذه الفطريات ان جميع الفطريات المستخدمة في تلك الدراسة لم تنتشر بصورة وبائية ولفترة استمرت اربعة اشهر بعد المعاملة مما حدى بهم للاستنتاج من ان دوران المحلول المغذي في انظمة الزراعة بدون تربة ليس له دور كبير في نقل الامراض الفطرية مقارنة بالزراعة في تربة .

٢ ـ مرض الذبول وتعفن الجذور Root Rot and Wilts

يصيب هذا المرض العديد من محاصيل الخضر وبالدرجة الرئيسية الفلفل والقرعيات والباذنجان والطماطة ويعتبر اخطر مرض مسجل في الوقت الحاضر على الفلفل في العراق بل ويمكن اعتباره عامل محدد لزراعة الفلفل حيث ان اصابة الحقل قد تؤدي الى القضاء على المحصول بكامله وبسرعة . ممكن ان تظهر الاعراض على الساق والاوراق والثار والجذور وتبدأ الاصابة على الاجزاء الهوائية وذلك بظهور بقع مائية المظهر تتوسع بصورة تدريجية لتشمل مساحة كبيرة من الجزء المصاب . وقد تمتد الاصابة الى الثار وتؤدي الى تشققها حيث تظهر المناطق المصابة وكأنها مسلوقة بالماء الحار . وتبدأ الاصابة من الجذور وتؤدي الى تلونها باللون البني واختزال المجموع الجذري خصوصاً الشعيرات الجذرية اضافة الى توقف نمو الجذور والتفرعات الجذرية (Winsor ، ١٩٨٠) . عند عمل مقطع عرضي في منطقة الساق القريبة من سطح التربة يلاحظ تلونه باللون البني . وتتمثل الاعراض النهائية للمرض بذبول النبات وبالتالي موته . ينتشر المرض بسرعة في

حالة وجود الاصابة في الحقل خصوصاً بعد الري حيث ان الفطر المسبب **Phytophthora capsici** يكون اعداد قليلة من السبورات السابحة (Zoospore) تنتقل بواسطة ماء السقي في الحقل لتحدث الاصابة على النباتات السليمة . اما المسبب المرضي على القرعيات فهو **Phytophthora drechsleri** أو الفطر Pythium spp. خصوصاً الفطر **Pythium aphamidermatum** وجميع هذه الفطريات تعود لنفس العائلة وتتكاثر جنسياً ولا جنسياً بنفس الطريقة (محسن ، ١٩٧٩ والحسيني، ١٩٨٠) . وهذه الفطريات من فطريات التربة وتهاجم الجذور ومنطقة التاج ويؤدي الى تحطيم الانسجة المصابة وتعفنها ويؤدي بالمرحلة الاخيرة الى ذبول وموت النباتات المصابة والتي تصبح مصدراً لاصابة الحقل أو الحقول المجاورة . الفطر ممكن ان ينتقل بواسطة البذور والتربة الملوثة أو اية عملية زراعية تساعد على انتشاره . تعتبر طريقة الزراعة وتنظيم الري من الاساليب الفعالة في مقاومة المرض حيث ان الفطر يتكاثر لاجنسياً بانتاج السبورات المتحركة بوجود الماء وعليه فان اية عملية تقلل من تلامس الماء بالنبات تؤدي الى تقليل احتمال حدوث الاصابة . يمكن معاملة البذور بمبيد الكابتان بنسبة ٥غم/ كغم من البذور . وعند ظهور الاصابة بالحقل يمكن رش بعض المبيدات الجهازية المخصصة كمبيد الرايدوميل (Ridomil) بنسبة ١غم/ لتر ماء حيث ان كل رشة تعطي حماية للنباتات لفترة تمتد الى اكثر من شهر .

وفي تجارب على انتشار هذه الفطريات والمواد الكيمياوية التي تستخدم للسيطرة عليها في حالة الزراعة بدون تربة وجد Staunton و Cormican (١٩٨٠) ان اضافة مادة الايترادیزول Etridiazol بتركيز ٢٠ جزء في المليون الى المحلول المغذي يساعد في منع انتشار هذه الفطريات . في حين وجد Price و Dickinson (١٩٨٠) ان اضافة خليط من النحاس بتركيز ٥ جزء في المليون مع الايترادیزول بتركيز ٢٠ جزء في المليون كل اربعة اسابيع اعطى نتائج جيدة للسيطرة على هذه الفطريات .

٣ . اللفحة المتأخرة **Late Blight**

يظهر المرض على نباتات الطماطة في اي وقت خلال موسم النمو عندما تكون الظروف البيئية ملائمة وقد يموت النبات خلال ايام محدودة اذا كانت الظروف غير ملائمة لانتشاره . وان اهم عاملين في انتشار هذا المرض هما ارتفاع نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة المنخفضة حيث ان درجة الحرارة المثلى لتطور المرض محصورة بين ١٣ الى ١٩ م وقد يتوقف المرض عند درجة ٢٥م . ويحتاج الى رطوبة نسبية عالية (٩٠٪ فأكثر) ويشترط توفر غشاء مائي رقيق على الاوراق لمدة ٢ ــ ٥

ساعة لغرض احداث الاصابة . الفطر المسبب هو **Phytophthora infestans** واهم اعراض المرض على النباتات هي ظهور بقع مائية غير منتظمة على السطح العلوي للوريقات ابتداءا من حواف وقمة الورقية . وتظهر الاعراض على الاوراق السفلية . وبوجود الرطوبة العالية تتوسع هذه البقع مكونة مساحات اكبر ذات لون بني ذات هالة خضراء مصفرة ويظهر على السطح السفلي نمو زغبي ابيض . ينتشر المرض من ورقة لاخرى يشمل جميع اجزاء النبات حيث تتعفن انسجة النباتات المصابة وتعطي رائحة مميزة . اهم طريقة للمكافحة هي زراعة اصناف مقاومة او رش النباتات عند ظهور الاعراض بمركب الدايثين ز ــ ٧٨ او دايثين م ــ ٢٢ او دايثين م ــ ٤٥ بمعدل ٢ غم/ لتر ماء . كما يمكن استخدام احد المركبات المحتوية على النحاس مثل الكوبرانيت او البرونكس بنفس المعدل السابق ويكرر الرش كل ١٠ ــ ١٥ يوم . ومن الضروري رش النباتات حتى البلل الكامل وعلى السطحين العلوي والسفلي للاوراق (ميخائيل وآخرون ، ١٩٨١) .

٤ . اللفحة المبكرة **Early Blight**

يظهر المرض على نباتات الطماطة والفلفل والباذنجان في اي طور من اطوار النمو . فاذا حصلت الاصابة للبادرات فانها تموت اما النباتات البالغة فتظهر الاصابة على هيئة بقع صغيرة مستديرة او بيضوية الشكل داكنة او سوداء اللون متداخلة المركز تظهر اولا على الاوراق السفلى للنبات كما وتظهر البقع على حامل الاوراق والساق وتؤدي الى تشققها وعند اشتداد الاصابة تتسع هذه البقع لتشمل مساحة كبيرة من سطح الورقة ثم تصفر الورقة وتجف وتسقط كما قد يسبب المرض سقوط الازهار والثمار العاقدة حديثا . وتظهر البقع على الثمار ايضا خصوصا قرب منطقة اتصال الثمرة بالحامل الزهري وتكون البقع ذات لون بني مسمر منخفضة قليلا . مسبب المرض هو الفطر **Altérnaria solani** وللسيطرة على هذا المرض من الضروري تقليل نسبة الرطوبة خصوصا في حالة الزراعة في البيئة المحمية (داخل البيوت الزجاجية والبلاستيكية والانفاق الواطئة) وذلك بأجراء التهوية بصورة مستمرة كما يمكن استخدام اصناف مقاومة . وفي حالة ظهور اعراض المرض ترش النباتات بمركب الدايكونيل Diconil بمعدل ١ غم/ لتر ويكرر الرش كل اسبوعين او يستخدم الكابتان او المانيب او الزينب رشا على النباتات .

٥ . عفن الاوراق **Leef Mold**

يسبب هذا المرض الفطر **Cladosporium flavum** حيث تظهر اعراض المرض على شكل بقع صفراء فاتحة اللون على السطح العلوي للورقة يقابلها نموات

زغبية رمادية على السطح السفلي تمثل الحوامل الكونيدية وكونيديا الفطر . عند اشتداد الاصابة تتساقط الاوراق واهم طريقة للمكافحة هي تنظيف البيت الزجاجي او البلاستيكي واجراء التهوية بصورة مستمرة والسيطرة على درجة الحرارة والمحافظة على نسبة رطوبة منخفضة . ترش النباتات المصابة بمبيد البافستين (Bavistin) او البينوميل (Benomyl) بنسبة ٤ ـ ٥ غم / غالون ماء .

٦ . البياض الزغبي **Downy Mildew**

يسبب هذا المرض فطرا **Pseudoperonospora Cubesis** حيث تحدث الاصابة من خلال الثغور وينمو الفطر في المسافات البينية للخلايا فيرسل ممصات تدخل داخل الخلايا . يصيب هذا المرض الخيار والقرع كوسة (ملا احمد) والبطيخ الشوكي . تظهر الاعراض بشكل بقع صفراء على السطح العلوي للاوراق مابين العروق سرعان ماتتحول الى اللون البني يقابلها على السطح السفلي بقع ذات مظهر زغبي داكنة اللون وتظهر الاعراض على الاوراق السفلى ثم بمرور الزمن واشتداد الاصابة تظهر الاعراض على الاوراق العليا ايضا وقد تصاب الثار . وللمقاومة من الضروري زراعة اصناف مقاومة وترش النباتات المصابة بمركب الرايدوميل Ridomil بتركيز ٠,٥ غم / غالون ماء او خليط من الرايدوميل مع الدايثين م ـ ٢٢ بتركيز ١١,٢٥ غم / غالون ويكرر الرش كل اسبوعين .

٧ . مرض السكلروتينا **Sclerotinia Disease**

هذا المرض يصيب محاصيل خضروات من عوائل مختلفة مثل الخيار والقرع كوسة (ملا احمد) واللهانة والقرنابيط والبطاطا والطماطة والباذنجان والخس وغيرها . يسبب هذا المرض فطر Sclerotinia sclerotioum حيث تنبت سبورات هذا الفطر على سطح النبات ويكون انبوبة تخترق البشرة ويفرز الفطر انزيمات تسبب موت خلايا النبات قبل وصول هيفات الفطر اليها وهذه الخلايا الميتة تكون الغذاء الجاهز للفطر . تصاب النباتات في اي طور من اطوار نموها واذا حصلت الاصابة على البادرات تسبب موتها . اما على النباتات البالغة فتظهر الاصابة قرب قاعدة الساق على شكل بقع مائية او ذات لون بني وتمتد الاصابة لتشمل كل المجموع الجذري وتسبب تعفنه ويمتد المرض نحو الاعلى ايضا ليصيب قواعد الاوراق واعناقها فيسبب اصفرارها وذبول الاوراق وتساقطها .

وتصاب الثار من الطرف الزهري خصوصا على الثار الصغيرة ويمتد المرض نحو منطقة الاتصال للثمرة وبالتالي سقوطها . ومن اهم الصفات التميزية للفطر هي تكوين اجسام حجرية سوداء ترى بالعين المجردة في مناطق الاصابة خارجية او داخلية اضافة الى تكون اعداد هائلة منها قرب النباتات المصابة . لاتوجد طريقة ناجحة لمقاومة هذا المرض الا انه يمكن تقليل شدة الاصابة بمعاملة التربة في المشتل والبذور قبل الزراعة ببعض المبيدات الفطرية ورش النباتات بالبنليت (Benlate) بتركيز ١ ٪ او مبيد الرونيلان عند ظهور اعراض المرض ويكرر الرش كل اسبوعين كما وينصح باستخدام الاصناف المقاومة .

٨ ـ ذبول القرعيات Wilts of Cucurbits

هذا المرض يعتبر من الامراض المهمة التي تصيب نباتات القرع والخيار والبطيخ والرقي في قطرنا . يسبب هذا المرض فطر **Fusarium oxysporum** f.sp. cucumerinum على الخيار و **Fusarium oxysporum** f.sp. melonis على البطيخ و **Fusarium oxysporum** f.sp. niveum على الرقي ويعتبر العائل الوحيد له . وتدخل هذه الفطريات عن طريق القمم النامية في الجذور ومناطق الجروح ثم ينمو داخل اوعية الخشب مسبباً اعراض الذبول . عندما تصاب البادرات فانها تذبل وتموت اما اعراض المرض على النباتات البالغة تتميز بظهور الذبول المؤقت على النباتات اثناء النهار خصوصاً في الايام المشمسة الا انه يستعيد حالته عند المساء وتكرر هذه الحالة لمدة ٣ ـ ٤ ايام حتى تشتد الاصابة ويظهر الذبول الدائمي ممايؤدي الى اصفرار الاوراق ابتداء من قاعدة الورقة نحو الاعلى ومن الاوراق السفلى نحو الاعلى الى ان يذبل النبات ويموت . وعند عمل مقطع عرضي في الساق نلاحظ وجود طبقة بنية في اوعية الخشب . وللمقاومة من الضروري زراعة اصناف مقاومة واتباع الدورة الزراعية ويمكن استخدام مبيد البنليت لمعاملة البذور بتركيز ٥ غم/ كغم بذور او ان يرش على النباتات عند ظهور الاصابة بمعدل ١ ٪ .

٩ ـ البياض الدقيقي في القرعيات Powdery Mildew of Cucurbits

هـذا المرض واسع الانتشار في العراق خصوصـاً في البيوت الزجـاجيـة والبلاستيكية والانفاق الواطئة حيث تكون درجة الحرارة حوالي ٢٥ ـ ٢٨ م ورطوبة نسبية تصل الى ١٠٠ ٪ وهي ظروف جيدة وملائمة لنمو وانتشار هذا المرض . وقد ذكر ابراهيم وآخرون (١٩٨٠) ان مسببات هذا المرض هي فطريات

Sphaerotheca fuliginea و **Erysiphe cichoracearum** حيث تكون هذه الفطريات ميسيليوم ابيض على سطح الورقة يمتد ليشمل الافرع والثار والاوراق المجاورة ويرسل ممصات الى خلايا البشرة للحصول على الغذاء ويكون اعداداً هائلة من الكويندیا على سطح الاجزاء المصابة وبذلك يظهر المظهر الدقيقي عليها . وينتشر الفطر الى النباتات المجاورة بواسطة الرياح التي تنقل كونيديا المسبب الى تلك النباتات . تظهر اعراض الاصابة على الاوراق القديمة والناضجة في حين تكون الاوراق الحديثة شديدة المقاومة . وتبدأ الاصابة على السطح العلوي للورقة ثم تتحد البقع لتشمل مساحة واسعة من الورقة وتنتشر الاصابة الى السطح السفلي ايضاً . وان اصابة الاوراق بشدة ينتج عنها قلة او انعدام العقد في الازهار وتشوه نمو الثار . وللمقاومة تزرع الاصناف المقاومة كما يمكن اجراء التعفير بالكبريت المخلوط بالرماد بنسبة ١ : ٩ الا انه توجد محاذير في استعمال الكبريت خصوصاً في الايام الحارة حيث قد يسبب احتراق النباتات لذلك يمكن الاستعاضة عنه بالكاراثين **Karathane** بمعدل ٢,٥ سم/ غالون ويكرر الرش كل اسبوعين . وقد يستخدم المبيد الفطري الجهازي البنليت بمعدل ٤,٥ غم/ غالون على ان يكرر الرش كل ٢ ــ ٣ اسبوع .

١٠ ــ الذبول البكتيري في القرعيات **Bacterial Wilt of Cucurbits**

يعتبر الخيار من اكثر النباتات عرضة للاصابة بهذا المرض . مسبب المرض هو بكتريا **Erwinia tracheiphila** الشديدة الحساسية للجفاف حيث تقضي الشتاء في امعاء خنافس القثاء المبقعة . وينتقل هذا المرض بواسطة هذه الخنافس او حشرات اخرى كقفازات الاوراق حيث عند تغذية الحشرات على النبات تحدث جروح عميقة تصل الى الخشب فتدخل البكتريا الى هذا النسيج فتتكاثر وتفرز افرازات لزجة تعمل على انسداد الوعاء الخشبي وتعتبر هذه المادة اللزجة صفة تشخيصية للمرض . تظهر اعراض المرض على هيئة ذبول في ورقة واحدة او اكثر على النبات الواحد فتتهدل حافتها وتذبل جميع الاوراق . وقد تصاب الثار من الداخل وتتلف انسجتها الداخلية دون ظهور اية علامات خارجية على الثمرة . وللمقاومة يجب استخدام اصناف مقاومة ومكافحة حشرات وخنافس القرعيات باستخدام مادة السيفين ٨٥٪ قابل للبلل بمعدل ٥٠٠ غم او ديازينون ٦٠٪ بمعدل ٤٠٠ ــ ٦٠٠ سم^{٣}/ دونم .

١١ ـ البياض الزغبي على الخس Lettuce Downy Mildew

من الامراض الشائعة في العالم ويعتبر اهم مرض مسجل على الخس في القطر العراقي ويظهر في نهاية الشتاء خصوصاً بعد هطول الامطار وارتفاع الرطوبة وقد تصل نسبة الخسارة الى ٥٠ ٪ من المحصول وزنا . يظهر المرض بشكل بقع صفراء بين العروق سرعان ماتلتحم وقد تصل حافة الورقة وتصبح ذات لون بني . والاصابة تؤدي الى اضعاف النمو وتشجيع الفطر **Botrytis cinarea** على النمو في مواقع الاصابة والذي يؤدي الى احداث ضرر كبير . الاصابة المبكرة تؤدي الى تقزم البادرات وموتها . والعلامة المميزة هي وجود النمو الزغبي الابيض على النسيج المصاب للفطر المسبب Bremia Iactucae الظروف الملائمة للفطر هي درجة الحرارة الواطئة (١٣ ـ ١٥ م) والرطوبة النسبية العالية (٩٠ ٪ تقريباً) (محمد ، ١٩٨٣) كما ويبدو ان الفطر يحتاج الى فترة ظلام بعد حدوث الاصابة لتطور المرض . يقاوم المرض برش احد المبيدات الفطرية كالزينب والمانيت والدايثين م ـ ٤٥ بتركيز ٢,٥ غم/ لتر ماء ويمكن استخدام مبيد الرايدوميل بنفس النسبة المذكورة سابقاً .

ب ـ الامراض الفيروسيه

ربما من اكثر الامراض الفايروسيه شيوعاً على الخضروات هي تلك التي تصيب الطماطة والفلفل واهمها مرض موزائيك الطماطة وتجعد واصفرار الاوراق حيث ينتشر في البيوت الزجاجية والبلاستيكية ويعتقد ان الضرر الناجم عن موزائيك التجعد كبير مقارنة بموزائيك الطماطة .

١ ـ موزائيك الطماطة Tomato Mosaic

تظهر الاعراض بشكل مساحات خضراء باهتة تتبادل مع مساحات خضراء غامقة (موزائيك) . وقد يؤدي الى تشوه الاوراق كما وتؤدي الاصابة الشديدة الى تقزم النبات وبالتالي قلة الحاصل . يتسبب المرض عن الفايروس Tobacco Mosaic Virus (TMV) يدخل الفايروس عن طريق الجروح ويصل الى الاوعية الناقلة بعد ٣ ايام اذا كانت الاصابة جهازية . الفايروس لاينتقل بواسطة الحشرات الا انه ينتقل ميكانيكا اي عند ملامسة النبات المصاب للنبات السليم او بواسطة ايدي العاملين ولذلك يلاحظ ان الاصابة تزداد بعد كل جنيه . والطريقة المثلى للمقاومة هي استخدام لاصناف المقاومة (جرجيس ، ١٩٧٧) .

٢ ـ تجعد واصفرار اوراق الطماطة الفايروسي
Tomato Yellow and Leaf Curl

يكاد ان يكون هذا المرض اهم مرض مسجل في العالم على الطماطة خصوصاً في الزراعة المحمية ويعتبر عامل محدد لزراعة الطماطة تحت البيئة المكيفية في القطر خصوصاً عند التبكير في زراعة الدايات. تتميز الاعراض بانحناء نصل الورقة نحو الاعلى او الاسفل مع ظهور تبرقش خفيف ويظهر بعد ذلك اصفرار على نصل الورقة وخاصة في المناطق المتاخمة للعروق مع تشوه وتجعد الاوراق واختزال ملحوظ في الحجم مع تقزم النبات وقد يتثخن نصل الورقة. الاصابة الوبائية تؤدي الى خفض الحاصل بنسبة تصل الى ٧٥٪ والاصابة المبكرة قد تؤدي الى صغر حجم الثمار او فشل النبات في العقد والانتاج بصورة تامة. المسبب هو الفايروس Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) وعلى عكس الفايروس السابق فانه لاينتقل ميكانيكياً بالملامسة وانما الناقل الوحيد له هو الذبابة البيضاء. وبناء على ذلك فان اسلوب المقاومة يبنى اساساً على وضع برنامجاً لمقاومة هذه الحشرة ويكمن اسلوب المقاومة في انتاج دايات خالية من الذبابة البيضاء حيث ان وجود حشرة واحدة فقط كافية لنشر المرض (شفيق، ١٩٨٣). حيث ان الحشرة قد تكون حاملة للفايروس وعند اصابتها لاحد النباتات فان هذا النبات سيكون مصدر للعدوى وعليه يجب ان تتخذ كافة الاحتياطات لانتاج دايات خالية من المرض وذلك بأجراء الرش ببعض المبيدات الحشرية الجهازية كل اسبوعين لمقاومة الحشرة ومحاولة استخدام قماش من الشاش لابعاد الحشرة عن الدخول الى البيت الزجاجي او البلاستيكي. وقد استخدمت هذه الطريقة مؤخراً في مداخل البيوت الزجاجية والبلاستيكية حيث تعمل ابواب اضافية بين طبقتين من الشاش لمنع دخول الذبابة البيضاء. كما ويمكن استخدام المبيدات الجهازية عند زراعة الداية كالفيوروان وذلك باضافته للتربة بتركيز ١١ غم/ م٢ قبل الزراعة واعادة المعاملة بعد اسبوعين ويطبق برنامج رش روتيني كل اسبوعين داخل البيوت برش احد المبيدات مثل السوبر اسيد او الملاثيون لابعاد احتمال تواجد الحشرة داخل البيت.

٣ ـ موزائيك الخيار **Cucumber Mosaic**

يصيب هذا المرض نباتات عديدة منها الخيار والطماطة والفلفل والقرع والبطيخ وبعض نباتات الزينة الا انه يعتبر اهم مرض مسجل في العالم على الخيار. والمسبب هو فايروس Cucumber Mosaic Viruc (CMV) وينتقل هذا الفايروس بواسطة الحشرات خصوصاً المن. يقضي الفايروس الشتاء على

النباتات المعمرة من الادغال ونباتات الزينة وغيرها وعند حلول الربيع تنقل الحشرات الفايروس من النباتات المصابة الى النباتات السليمة . وعموماً تنتشر الاصابة بعد الجنيه الاولى للثمار بواسطة ايدي وملابس العاملين . ويسبب الفايروس زيادة في معدل سرعة تنفس الخلايا وتراكم بعض الاحماض الامينية والعضوية التي قد تكون سامة وزيادة في نشاط بعض الانزيمات . تظهر اعراض المرض على النباتات الصغيرة فتتبرقش الاوراق الفلقية ويصفر حجمها وتصبح مشوه وبالتالي موت النبات . وتحدث الاصابة على النباتات بعمر ٦ اسابيع او اكثر وبعد حدوث العدوى باربعة او خمسة ايام تظهر اعراض الموزائيك على الاوراق الحديثة النامية فتصبح مشوهه حيث تكون حوافها ملتوية نحو الاسفل ويختزل نموها بدرجة كبيرة . يتقزم النبات بسبب قصر السلاميات ويقل عدد الازهار والثمار وتظهر الاعراض على الثمار ايضاً فتكون هناك بقع خضراء باهتة اللون تتخللها مناطق خضراء مرتفعة غامقة اللون . وللمقاومة يجب زراعة الاصناف الغير حساسة للمرض ومكافحة الحشرات الناقلة للفايروس ومكافحة النباتات التي تكون عائل للمرض لقضاء الشتاء واستخدام بذور سليمة .

٤ ــ موزائيك الخس **Lettuce Mosaic** من الامراض المهمة والشائعة في العالم ويصيب معظم الاصناف التجارية والبرية . تتميز الاعراض بتقزم النبات وشفافية العروق وتجعد نصل الورقة وتبرقشها وتؤدي الاصابة الشديدة الى عدم التفاف الاوراق وبالتالي عدم تكون الرؤوس . المسبب هو فايروس Lettuce Mosaic Virus (LMV) ينتقل ميكانيكياً وبواسطة البذور كما ويمكن ان ينقل بواسطة المن . واهم وسيلة في المقاومة هي استخدام بذور مصدقة وخالية من المسبب المرضي . كما ويمكن مكافحة الحشرات الناقلة كالمن لمنع انتشار هذا المرض في الحقل (رمضان ، ١٩٨٠) .

المصادر العربية

١ ـ ابراهيم ، اسكندر فرنسيس ، ليلى جواد كاظم وفائزة عاشور كاظم ، استخدام بعض المطفرات الفيزياوية والكيمياوية لاستحداث طفرات مقاومة لمرض البياض الدقيقي في الخيار . المؤتمر العلمي العربي الاول لعلوم الحياة . بغداد ٢١ ـ ٢٤ نيسان (١٩٨٠) .

٢ ـ الحسيني ، احسان علي رضا ، ذبول الفلفل والتداخل بين مسبباته . رسالة ماجستير ـ كلية الزراعة ـ ابي غريب (١٩٨٠) .

٣ ـ جرجيس ، ميسر مجيد ، تشخيص وانتشار والاهمية الاقتصادية لبعض فايروسات الطماطة في العراق . رسالة ماجستير ـ كلية الزراعة ـ ابي غريب (١٩٧٧) .

٤ ـ شفيق ، حسين لطيف ، دراسات على تشخيص ومقاومة فايروس تجعد واصفرار اوراق الطماطة في البيوت البلاستيكية . رسالة ماجستير ـ كلية الزراعة ـ ابي غريب (١٩٨٣) .

٥ ـ رمضان ، نديم احمد . اهمية وتشخيص الفيروس (الفيروسات) المسبب لمرض سوزانيك الخس وغربلة بعض الاصناف المقاومة . رسالة ماجستير ـ كلية الزراعة والغابات/ جامعة الموصل .

٦ ـ محسن ، هزاع ، دراسات تشخيص وبايولوجية للامراض التي تسببها الفطريات البيضية من عائلة Pythiaceae ، رسالة ماجستير ـ كلية الزراعة ـ ابي غريب (١٩٧٩) .

٦ ـ محمد ، جمال طالب ، حياتية ووبائية مسبب مرض البياض الزغبي **Bremia lactucae** على الخس . رسالة ماجستير ـ كلية الزراعة ـ ابي غريب (١٩٨٣) .

٨ ـ ميخائيل ، سمير وعبد الحميد طرابية وعبد الجواد الزردي ، امراض البساتين والخضر . مؤسسة دار الكتب للطباعة والنشر ـ جامعة الموصل (١٩٨١) .

References

1- Cooper, A.J., The ABS of NFT. Growen Books, London, UK (1979).
2- Graves, C.J., The nutrient film technique. Horticultural Reviews 5: 1-44 (1984).
3- Price, D. and Dickinson, A., Fungicides and the nutrient film technique Acta Horticulturae 98: 277-282 (1980).
4- Staunton, W.P. and Cormican, T.P., The behaviour of tomato pathogens in hydroponic system. Acta Horticulturae 82: 133-136 (1978).
5- Staunton, W.P. and Cormican, T.P., The effect of pathogens and fungicides on tomatoes in a hydroponic system. Acta Horticulurae 98: 289-297 (1980).
6- Winsor, G.W., Progress in nutrient film culture. Span 23: 7-9 (1980).

الفصل الثاني عشر

التطبيقات العملية لزراعة المحاصيل في انظمة الزراعة بدون تربة

المقدمة :

توجد في الوقت الحاضر مزارع عديدة متخصصة لانتاج المحاصيل كالخضروات والمحاصيل الحقلية وانتاج نباتات المشتل ونباتات الزينة سواء الاشجار والشجيرات والازهار المقطوفة والابصال يستخدم فيها انظمة الزراعة بدون تربة . وربما يعود ذلك الى سهولة السيطرة على الظروف الملائمة لتلك النباتات مما يجعل توفير افضل واسرع نمو من خلال السيطرة العالية على تغذية تلك النباتات بالعناصر المعدنية الملائمة .

اولا : محاصيل الخضروات

١ ـ الطماطة Tomato

لقد درس كثير من الباحثين احتياجات نباتات الطماطة للعناصر المعدنية وتأثير بعض العوامل البيئية الاخرى على نمو وانتاجية هذا المحصول ولاحظوا ان الطماطة تستجيب طردياً الى كمية ونوعية العناصر المعدنية في المحلول المغذي وكذلك الى درجة حرارة أللیل والنهار والتسميد بغاز ثاني اوكسيد الكاربون .

العوامل المدروسة :

أ ـ توفر العناصر المعدنية

لقد درس Cooper (١٩٧٩) بالتفصيل ماتمتصه نباتات الطماطة اسبوعياً خلال مراحل نموها منذ بداية نقل الشتلات الى نظام الزراعة بدون تربة وحتى انتهاء موسم الزراعة وقد لاحظ ان امتصاص العناصر المعدنية يختلف باختلاف مراحل النمو وكلما ازداد عمر النبات وحجمه ازداد امتصاصه . كما لوحظ ان هناك انخفاض واضح في امتصاص جميع العناصر المعدنية في الفترة من بداية التزهير حتى قطف اول ثمرة وقد اتضح لاحقاً ان خلال هذه المرحلة من النمو تموت نسبة كبيرة من الجذور وتتحلل وهي حالة فسلجية غير معروفة الاسباب . وفي عام ١٩٧٦ اقترح Cooper ضرورة توفر جميع العناصر المعدنية بصورة ذائبة في المحلول المغذي لكي تنمو النباتات بصورة طبيعية وتعطي حاصلا جيداً . والتراكيز المقترحة للعناصر المعدنية هي كما يلي :

العنصر المعدني	التركيز (جزء بالمليون)
النتروجين	٢٠٠
البوتاسيوم	٣٠٠
الفسفور	٦٠
الكالسيوم	١٧٠
المغنيسيوم	٥٠
الحديد	١٢
المنغنيز	٢
البورون	٠,٣
النحاس	٠,١
الزنك	٠,١
المولبدنم	٠,٢

ويمكن الحصول على التراكيز اعلاه بأذابة عدد من الغرامات من المركبات التالية في ١٠٠٠لتر ماء وهي نترات الكالسيوم $(Ca(NO_3)_2.4H_2O$ ١٠٠٣غم ونترات البوتاسيوم (KNO_3) ٥٨٢غم وفوسفات البوتاسيوم (KH_2PO_4) ٢٦٣غم وكبريتات المغنيسيوم $(MgSO_4.7H_2O)$ ١٢,٥غم والحديد المخلوب (FeNa EDTA) ٧٩غم وكبريتات المنغنيز

($MnSO_4 .H_2O$) ٦,١ غم وحامض البوريك (H_3BO_3) ١,٧ غم وكبريتات النحاس ($CuSO_4.5H_2O$) ٠,٣٩ غم وكبريتات الزنك ($ZnSO_4.7H_2O$) ٠,٤٤ غم وموليبدات الامونيوم ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$) ٠,٣٧ غم .
وقد وضع Cooper (١٩٧٥) جدول خاص بالصيغ البنائية للمواد الكيمياوية من حيث كمياتها وتخفيفاتها لتحضير محلول مغذي ملائم لنمو الطماطة .

كما انه من الامور الواجب مراعاتها عند زراعة الطماطة في انظمة الزراعة بدون تربة هي نسبة البوتاسيوم الى النتروجين (K: N ratio) . لقد وجد ان لهذه النسبة تأثير كبير على انتاجية ونوعية ثمار الطماطة وبالتالي ضرورة السيطرة على هذه النسبة حسب مراحل نمو النبات حيث ان زيادتها تقلل الحاصل وقلتها تسبب انتاج ثمار ذات نوعية رديئة . والجدول التالي يوضح امتصاص نباتات الطماطة من عنصري البوتاسيوم والنتروجين خلال مراحل النمو المختلفة (Cooper ، ١٩٧٦) .
يتضح من الجدول(١٢ ــ ١) ان النباتات في طور النمو الخضري تمتص البوتاسيوم والنتروجين بنفس النسبة (١ : ١) في حين تزداد هذه النسبة لتصل الى ٢,٥ : ١ (N: K) خلال فترة حمل الثمار الا انه بعد قطف الثمار انخفضت نسبياً لتبقى بحدود (٢ : ١) (N: K) حتى نهاية الموسم .
ب ــ تداخل تأثير درجة حرارة المحلول المغذي مع درجة حرارة محيط النباتات في الليل والنهار .

لقد اجريت تجارب عديدة بخصوص تداخل درجة الحرارة لوسط النمو والمحيط الهوائي الذي تنمو فيه النباتات . وفي تجربة استمرت سنتين في محطة ابحاث البستنة في فارفيلد بانكلترا عرضت فيها النباتات الى درجات حرارة ٥ ، ٩ و ١٣ م في محيط الهواء اثناء الليل . اما المحلول المغذي فقد سخن فقط للنباتات المعرضة الى محيط هوائي ذات درجة حرارة منخفضة (٥ و ٩ م) الى الدرجة المناسبة لنمو النبات أو ان يترك بدون تسخين لجميع درجات حرارة محيط الهواء المذكورة اعلاه . اما درجة حرارة النهار فكانت ثابتة على ٢٠ م والخط البياني التالي يوضح انتاج الثمار للمعاملات اعلاه (شكل ١٢ ــ ١) .

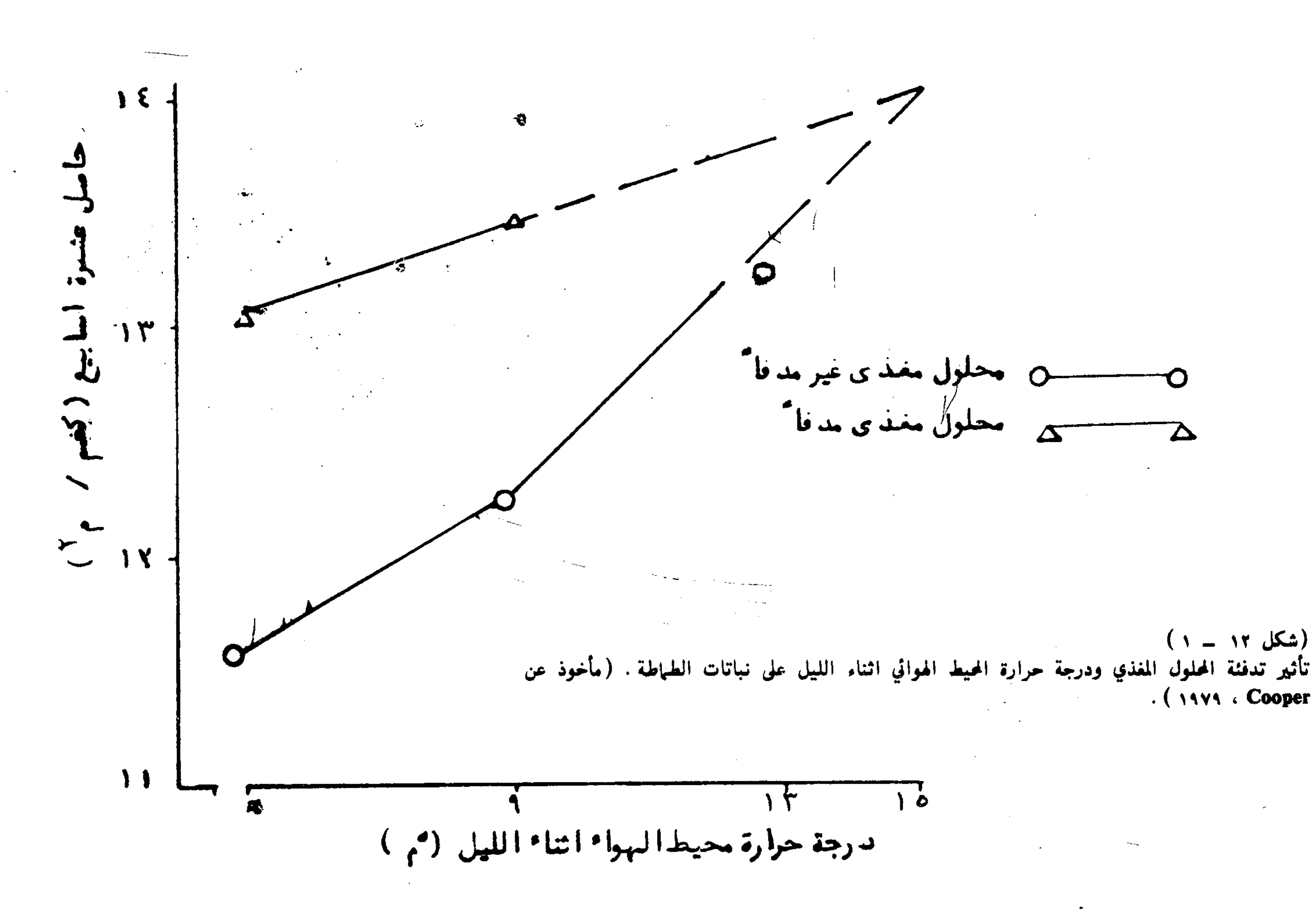
النتائج في هذا الخط البياني توضح ان حاصل نباتات المتر المربع الواحد والنامية في محلول مغذي مدفأ كان اعلى بكثير من تلك النامية في محلول مغذي غير مدفأ عند درجات حرارة الهواء المنخفضة اثناء الليل . اما عند درجة حرارة هواء مرتفعة (١٣ م) اثناء الليل فإن تدفئة المحلول المغذي لم تسبب زيادة ملحوظة في الانتاج . من هذه النتائج (شكل ١٢ ــ ١) يمكن الاستنتاج بأن نمو النباتات وانتاجها سيكون جيد في حالة تدفئة المحلول المغذي اثناء الليالي الباردة نسبياً .

جدول (١٢ ـ ١)

نسبة البوتاسيوم الى النتروجين الممتصة بواسطة نباتات الطماطة المزروعة في الفلم الغذائي (NFT) من بداية نقل الشتلات حتى نهاية الموسم (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

الاسابيع بعد نقل الشتلات	نسبة البوتاسيوم الى النتروجين
١ ـ ٩	١,١ : ١
١٠	١,٢ : ١
١١	١,٤ : ١
١٢	١,٦ : ١
١٣	١,٦ : ١
١٤	٢,٠ : ١
١٥	٢,٤ : ١
١٦	٢,٤ : ١
١٧ بداية قطف الثمار	٢,٤ : ١
١٨	٢,٢ : ١
١٩	١,٩ : ١
٢٠	٢,١ : ١
٢١	١,٩ : ١
٢٢	١,٩ : ١
٢٣	١,٩ : ١

اذا مد الخط البياني (الجزء المنقط) على امتداده سيلتقي الخطين عند درجة حرارة هواء في الليل حوالي ١٥ م . وبعبارة اخرى ان تدفئة محيط الجذور عندما تكون درجة حرارة الليل ١٥ م سوف لن تزيد من الانتاج .



(شكل ١٢ ـ ١)
تأثير تدفئة المحلول المغذي ودرجة حرارة المحيط الهوائي اثناء الليل على نباتات الطماطة . (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

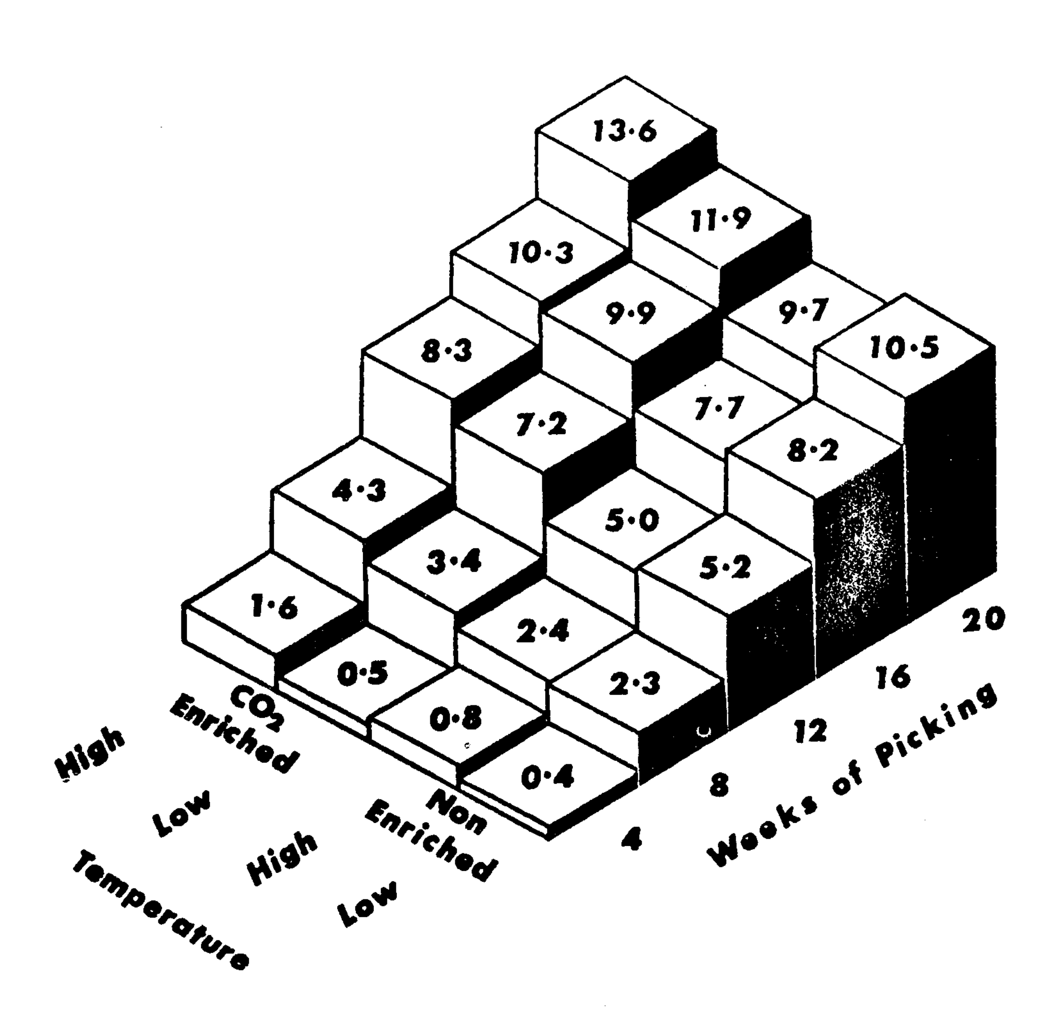
جـ ـ التسميد أو التجهيز بغاز ثاني اوكسيد الكاربون (Co_2)

من خلال بحوث عديدة ولعشرات السنين مضت عرف تأثير غاز CO_2 على كفاءة عملية التمثيل الضوئي وزيادة تركيز هذا الغاز الى حد معين تنعكس ايجابياً على نمو النباتات والحاصل . وكما هو معروف فإن تركيز هذا الغاز هو ٠,٠٣ ـ ٠,٠٤٪ اي بحدود ٣٠٠ ـ ٤٠٠ جزء لكل مليون حجم من الهواء (VPm) . ففي محطة الابحاث الزراعية في Chestunt وجد ان حاصل الطماطة يزداد عندما يزداد تركيز هذا الغاز الى مستوى اعلى من تركيزه في المحيط الجوي . فقد ذكر Fisher (١٩٧٩) ان انتاجية نباتات الطماطة ازدادت برفع تركيز غاز CO_2 الى اعلى من مستواه الطبيعي . كما ذكر Gaastra (١٩٥٩) وجود تداخل معنوي لتأثير شدة الضوء وتركيز غاز (CO_2) حيث يكون اعلى معدل للتمثيل الضوئي عند زيادة شدة الاضاءة وتركيز (CO_2). فقد وجد ان معدل التمثيل الضوئي ازداد عندما رفع تركيز غاز CO_2 الى ثلاثة اضعاف تركيزه في الجو (١٠٠٠ جزء في المليون) كما لاحظ نفس الباحث انه عند التركيز الاعتيادي لغاز CO_2 في المحيط الجوي فإن رفع درجة الحرارة لا تؤثر على كفاءة التمثيل الضوئي في حين عندما رفع تركيز غاز CO_2 الى ١٣٠٠ جزء في المليون ازداد معدل التمثيل الضوئي بزيادة درجة الحرارة .

مصادر التسميد بغاز CO_2 متعددة حيث يمكن ان تتم بحرق ٩ كغم من غاز البروبان لكل ايكر من البيت الزجاجي بالساعة للحصول على تركيز ١٠٠٠ جزء في المليون أو اضافة غاز CO_2 بمعدل ٢١,٢٠٠ كغم/ ايكر/ ساعة .

يؤكد Calvert (١٩٧٣) انه عندما يرفع تركيز غاز CO_2 في المراحل الاولى من نمو نباتات الطماطة يزداد معدل النمو الخضري بدرجة كبيرة مقارنة بالنباتات الغير معاملة . وعند وصول النباتات الى حجم معين يبدأ معدل النمو الخضري بالانخفاض الا ان معدل تراكم الكربوهيدرات يبقى مرتفعاً وبذلك يستخدمه النبات في التزهير ونمو الثمار حيث لوحظ ان عدد الثمار يزداد بمقدار ٢٥٪ وحجم الثمار يزداد بمقدار ٨ ـ ١٠٪ في النباتات المعاملة بغاز CO_2 . وفي تجربة على نباتات الطماطة اجراها Calvert و Slack (١٩٧٠) لدراسة العلاقة بين غاز CO_2 ودرجة الحرارة . فقد وجد ان استجابة الحاصل لدرجة الحرارة تعتمد اساساً على ما اذا كانت النباتات معاملة بغاز CO_2 أم لا . حيث انه بدون تجهيز CO_2 فإن زيادة درجة الحرارة تكون ذات تأثير قليل على نمو وانتاجية النباتات وان النباتات تحت ظروف الحرارة المنخفضة انتجت حاصلا اكبر خلال العشرين اسبوع الاولى من الحصاد . اما في حالة النباتات المعاملة بغاز CO_2 فقد لوحظ

ان رفع درجة الحرارة سبب زيادة كبيرة في الحاصل المبكر والكلي . وقد عللت النتائج على اساس ان درجة الحرارة المرتفعة تسبب زيادة في وزن الحاصل على حساب عدد الثمار الا انه في حالة المعاملة بغاز CO_2 سببت زيادة في عدد وحجم الثمار اضافة الى التبكير بالحاصل (شكل ١٢ ـ ٢) .



(شكل ١٢ ـ ٢)

تأثير التداخل بين غاز ثاني اوكسيد الكاربون ودرجة الحرارة على انتاجية نباتات الطماطة في البيت الزجاجي (باوند/ نبات) (مأخوذ عن Calvert ، ١٩٧٣) .

٢ ـ الخيار .. Cucumber

بالرغم من ان منتجي الخضروات يركزون على انتاج الطماطة في انظمة الزراعة بدون استخدام تربة لكن هناك وحدات كبيرة من البيوت الزجاجية التي تستخدم نفس الانظمة الزراعية ينتج فيها الخيار بنجاح كبير . اما اهم فرق عن نظام زراعة الطماطة هو ان الخيار يحتاج الى محلول مغذي ذات درجة توصيل كهربائي (EC) منخفضة مقارنة بالطماطة . حيث يجب ان تكون درجة التوصيل الكهربائي للمحلول المغذي في بداية موسم النمو ٢ الى ٢,٢ مليموز / سم (CF = ٢٠ الى ٢٢ مايكروسيمنس / سم) ثم تنخفض الى ١,٥ مليموز / سم عند بداية اعطاء الحاصل . كما يحتاج الخيار بسبب طبيعة نموه الخضري والثمري الى تركيز اعلى من النتروجين مقارنة بالطماطة لذلك فان تركيز النتروجين في المحلول المغذي للخيار يعادل ١,٥ ضعف تركيزه في المحلول المغذي للطماطة . وقد وجد من الابحاث ان احتياج الخيار خصوصاً الى عنصري البوتاسيوم والنتروجين اكثر من احتياجات الطماطة (Cooper ، ١٩٧٨) . وقد وضع Cooper (١٩٧٥) جدول يتضمن المحلول المغذي الابتدائي للخيار والطماطة حيث وجد ان للطماطة القابلية على النمو وربما انتاج الثمار في مدى واسع من تركيز كل من النتروجين والبوتاسيوم يتراوح بين ٢٠ الى ٢٠٠ جزء في المليون في حين لايمكن للخيار ان يقاوم هذا المستوى المنخفض (٢٠ جزء في المليون) من العنصرين (Spensley وآخرون ، ١٩٧٨) . ويعتقد بعض الباحثين المتخصصين في انتاج الخيار ان اهم وسيلة لنجاح زراعة الخيار في انظمة الزراعة بدون تربة هي الحفاظ على المستوى الملائم من الفسفور لنمو الخيار لكن هذا الاعتقاد لم يمكن اثباته من الناحية التجريبية حيث وجد ان من اهم المشاكل التي تواجهها زراعة الخيار بهذه الانظمة الزراعية هي التذبذب في تركيز العناصر المغذية الصغرى (Cooper ، ١٩٧٨) .

التسميد أو التجهيز بغاز ثاني اوكسيد الكاربون ايضاً ضروري في البيوت الزجاجية لزيادة انتاجية الخيار . حيث لوحظ ان زيادة تركيز غاز CO_2 في البيت الزجاجي أو البلاستيكي الى ٠,٤ ٪ (اي ١٠ اضعاف تركيزه الاعتيادي في الهواء) سبب زيادة ملحوظة في كمية المادة الجافة كما ان زيادة تركيز هذا الغاز سبب زيادة في عدد البراعم الجانبية والتبكير في تكوين البراعم الزهرية وبالتالي زيادة الحاصل . ولزيادة كفاءة استخدام هذا الغاز يتطلب درجة حرارة مرتفعة نسبياً اثناء النهار . الا انه يجب الحذر في رفع تركيز هذا الغاز في البيت الزجاجي الى مستوى مرتفع فبسبب اصابة النباتات بمرض Leaf Scorch فتتيبس الاوراق وتموت .

٣ ـ الخس Lettuce

يحتاج الخس بصورة عامة الى تركيز واطيء من العناصر المعدنية في المحلول المغذي مقارنة بالطماطة والخيار . واهم الاملاح الواجب اضافتها الى المحلول المغذي للخس هي نترات البوتاسيوم وكبريتات المغنيسيوم وفوسفات الامونيوم . كما انه من الضروري اضافة الكالسيوم في حالة استخدام الماء الخالي من الايونات (Deionized water) لعلاقة نقص هذا العنصر بظهور مرض احتراق اطراف الاوراق الملتفة (Tipburn) . كما يجب اضافة الحديد ايضاً . اما درجة التوصيل الكهربائي يجب ان تكون بحدود ٢ مليموز/ سم (٢٠ مايكروسيمنس/ سم) وحموضة المحلول المغذي يجب ان تضبط على ٦,٥ (pH) وبصورة مستمرة وذلك باستخدام حامض الفسفوريك أو حامض النتريك . وقد وجد من البحوث ان عنصر البورون ليس من العناصر الضرورية والمهمة للخس كما هي الحال مع بقية المحاصيل . والشكل (١٢ ـ ٣) يمثل مزرعة خس في نظام الفلم الغذائي NFT .



(شكل ١٢ ـ ٣)
مزرعة خس بأستخدام نظام الـ NFT . (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

٤ ـ محاصيل اخرى

هناك محاصيل خضروات اخرى مثل الفلفل والباذنجان والقرع والبطاطا والرقي والبصل تنتج في انظمة الزراعة بدوت تربة ايضاً . ومن اهم المشاكل التي تواجهها الخضروات الجذرية أو الدرنية مثل الجزر والبنجر والشلغم والبطاطا الحلوة والعادية هي ان هذه الجذور أو السيقان الخازنة (كما في البطاطا العادية) تتشوه بسبب صلابة جدران السواقي المستخدمة كاحواض للزراعة وقد امكن التغلب على هذه المشكلة وذلك باستخدام سواقي مرنة حيث تتمدد مع ازدياد حجم الجذور دون احداث اي ضغط ميكانيكي على نمو الجذور . كما استخدمت احواض زراعة عميقة للتغلب على هذه المشكلة . وقد ذكر Gericke (١٩٤٠) بعض التفاصيل حول زراعة الخضروات بدون استخدام تربة يمكن الرجوع اليها لزيادة الاطلاع .

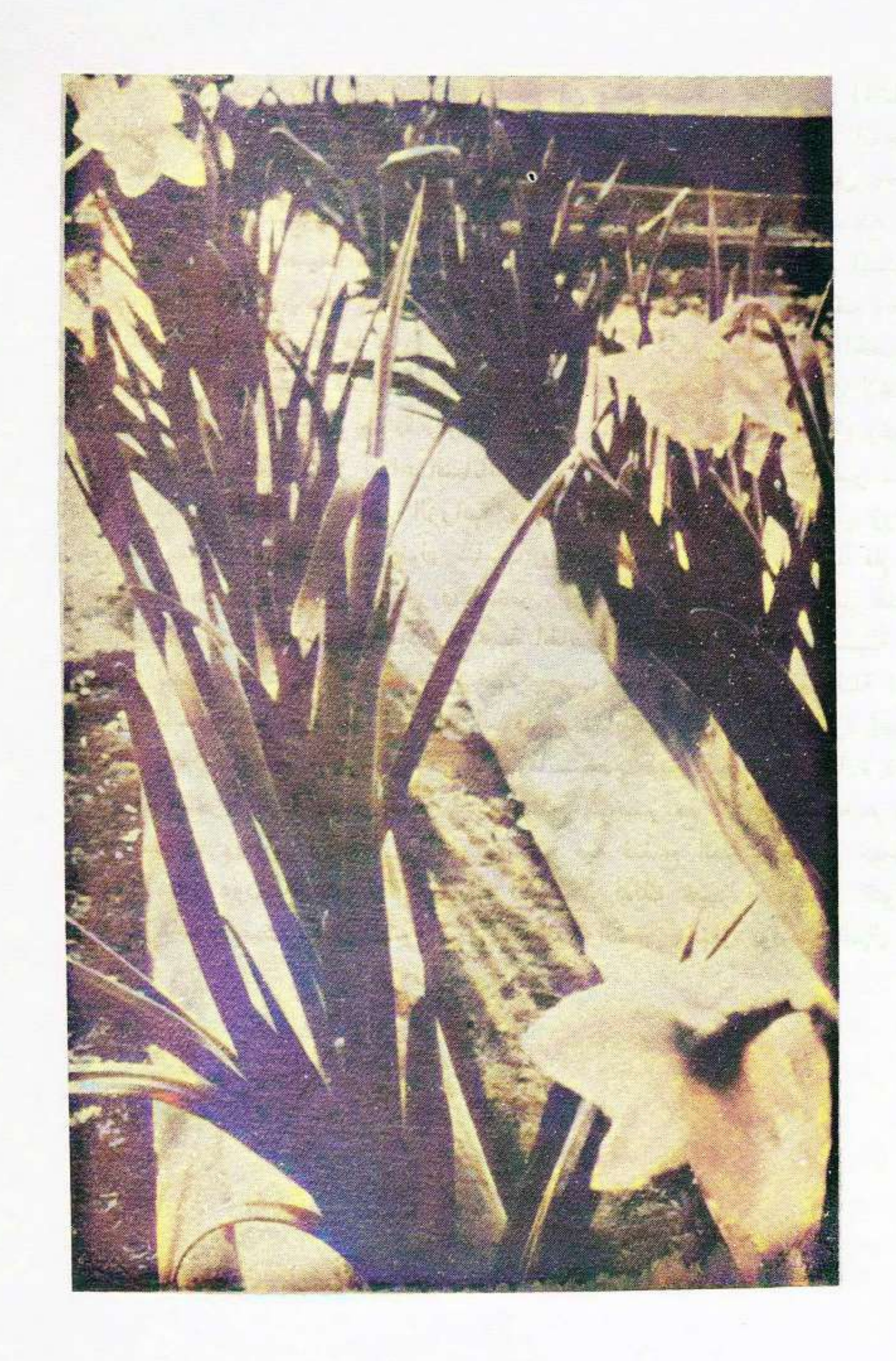
ثانياً : نباتات الزينة والمسطحات الخضراء

١ ـ ابصال الزينة

من خلال تجارب عديدة لوحظ ان ابصال النرجس (Daffodil) تنمو بصورة جيدة في انظمة الزراعة بدون تربة (شكل ١٢ ـ ٤) . حيث لاتحتاج هذه الابصال الى عناية فائقة في عملية الزراعة وان انبات هذه الابصال يكون جيد والمجموع الجذري يكون كبير وبالتالي فأن الازهار الناتجة تكون ذات حجم ونوعية ممتازة . كما ذكر Kiplinger و Laurie (١٩٤٩) تفاصيل حول زراعة عدد من نباتات الزينة بضمنها الورد والقرنفل والداودي وغيرها في مزرعة حصى . وقد وجد ايضاً ان ازهار الليلي (Lily flowers) يمكن زراعة ابصالها مباشرة في الحصى وبعد فترة قصيرة نسبيا تنبت وقد لوحظ انّ النباتات الناتجة تكون ذات ساق قوي وازهارها كبيرة مقارنة بتلك المزروعة في تربة .

٢ ـ نباتات المسطحات الخضراء

معظم منتجي المسطحات الخضراء غالباً مايستخدمون مبيدات ادغال انتخابية فتقتل الادغال وتستبقي نباتات المسطح الأخضر . وهذا المسطح يقطع فيما بعد على شكل قطع مربعة أو مستديرة حسب الابعاد التي يطلبها المستهلك . وفي اغلب الاحيان لايكون المسطح الاخضر من نباتات المسطح فقط وانما قد توجد بعض نباتات الحشائش مخلوطة معها لايقتلها المبيد الانتخابي وبالتالي تسبب تشوه منظر المسطح . ويعود السبب في عدم ازالة مثل هذه الحشائش بالدرجة الاساس الى



(شكل ١٢ ـ ٤)
مزرعة ابصال النرجس في مزرعة تكنيك الفلم ، الغذائي (NFT) (مأخوذ عن Cooper ، ١٩٧٩) .

ارتفاع التكاليف حيث انه لو اراد المنتج ان ينتج مسطح خالي من الحشائش يتطلب منه حراثة التربة بصورة جيدة قبل الزراعة وازالة الادغال الموجودة خصوصاً الحشائش ثم تبذر بذور نباتات المسطح الاخضر وينتظر لحين وصول المسطح الى مرحلة البيع وازالة كافة الحشائش يدوياً التي تظهر مع نباتات المسطح فان كل هذه العمليات تضيف تكاليف للانتاج وهذه التكاليف ستنعكس على المستهلك الذي قد لايتمكن من دفع هذه الكلفة خصوصاً اذا علمنا ان هناك تكاليف اخرى هي الشحن والنقل وغيرها . في حالة الزراعة بدون تربة وعلى وجه الخصوص الزراعة في الفلم الغذائي (NFT) فأن التكاليف اعلاه ستكون قليلة حيث لايحتاج المنتج الى اجراء عمليات حراثة وازالة حشائش واستخدام مبيدات ادغال وغيرها كما يمكن للمستهلك اختيار انواع النباتات التي يتكون منها المسطح الاخضر بدون اية زيادة في التكاليف . ففي الزراعة في الـ NFT يمكن عمل احواض زراعة عريضة نسبياً وغير عميقة وبطول مناسب والحدار بسيط يمر من قاعها فلم من المحلول المغذي الذي يكون في دوران مستمر . يوضع في قاعدة الساقية الغير منفذة للماء طبقة من القماش أو اي مادة لها صفة الخاصية الشعرية وعلى هذه الطبقة من القماش تبذر بذور نباتات المسطح الاخضر حسب الطلب وخلال ايام قليلة تبدأ الجذور للبذور النابتة لتنفذ الى قاع الساقية فتتشابك وتتماسك خلال فترة قصيرة وبذلك يكون المسطح جاهز للبيع . وغالباً ماتستخدم طبقة القماش أو المادة ذات الخاصية الشعرية مرنة وعند البيع يلف المسطح الاخضر مع الوسط المستخدم على شكل سجادة وينقل الى المكان المراد زراعته فيه فتفتح اللفات وتوضع مباشرة على الارض دون اجراء اية عمليات اضافية . لذلك يجب ان تصمم قنوات الزراعة بابعاد بحيث يكون المنتوج سهل التداول والشحن والنقل بواسطة العمال .

References

1- Calvert, A., Environmental responses.In; The U.K. Tomato manual, ed. H.G. Kingham, Grower Books, Richard Clay Ltd. London U.K. (1973).

2- Calvert, A., and Slack, G., Effects of carbon dioxide concentration on glasshouse tomatoes. Glashouse Crops Research Institute Report, PP 61-62 (1970).

3- Cooper, A.J., Crop production in recirculating nutrient solution. Scientia Horticulturae 3: 251-258 (1975).

4- Cooper, A.J., Crop production with the nutrient-film technique. Proceedings of the Fourth International Congress on Soilless Culture, 121-136 (1976).

5- Cooper, A.J., Commercial applications of NFT Grower Books, John G. Eccles Printers Ltd. U.K. (1979).

6- Cooper, A.J., The Abc of NFT. Grower Books, London (1979).

7- Fisher, K.J., Source-sink relationships on the young fruiting greenhouse tomato plants. Gartenbauwissendnaft 44: 118-120 (1979).

8- Gaastra, P., Photosynthesis of crop Plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Meded Landboy Wageningen, 59: 1-68 (1959).

9- Gericke, W.F., The complete guide to soil-less gardening. Prentic Hall Inc., Putnam, London, U.K. (1940).

10- Kiplinger, D.C., and Laurie, A., Gravel culture for growing ornamental greenhouse crops. Ohio Agricultural Experiment Station Research Bulletin 679: 1-59 (1949).

11- Spenley, K., Winsot, G.W., and Cooper, A. J., Nutrient film technique-crop culture in flowing nutrient solution. Outlook in Agriculture 9: 299-305 (1978).

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ٥١٨ لسنة ١٩٨٩




مطبعة التعليم العالي في الموصل

١٨٥٠

انظمة الزراعة بدون استخدام تربة

١٩٨٩

